

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACTULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**EFFECTO DE LA OSCILACIÓN TÉRMICA EN LA FISIOLÓGÍA
DE LA ALMEJA MANO DE LEÓN
(*Nodipecten subnodosus* Sowerby, 1835)**

Por

MA. TERESA SICARD GONZÁLEZ

**Como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
con Especialidad en Acuicultura**

Diciembre, 2006

EFFECTO DE LA OSCILACIÓN TÉRMICA EN LA FISIOLÓGÍA
DE LA ALMEJA MANO DE LEÓN
(Nodipecten subnodosus Sowerby, 1835)

Comité de Tesis

DR. ROBERTO MENDOZA ALFARO
Director de la Tesis

DR. ALFONSO N. MAEDA MARTÍNEZ
Director Externo

DR. CARLOS JAVIER AGUILERA GONZÁLEZ
Secretario

DR. GABINO RODRÍGUEZ ALMARAZ
Vocal 1

DR. JESÚS ALGEL DE LEÓN GONZÁLEZ
Vocal 2

DR. JESÚS MONTEMAYOR LEAL
Vocal 3

EFFECTO DE LA OSCILACIÓN TÉRMICA EN LA FISIOLÓGÍA
DE LA ALMEJA MANO DE LEÓN
(Nodipecten subnodosus Sowerby, 1835)

Comité Académico de Doctorado

Subdirector de Estudios de Postgrado

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a la Universidad Autónoma de Nuevo León quien me brindó un espacio para mi superación académica, a través del Programa de Postgrado de la Facultad de Ciencias Biológicas dirigido tan atinadamente y siempre con una sonrisa por la Dra. Julia Verde Star.

Quiero agradecer al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste institución a la que pertenezco y a su Director Dr. Mario Martínez García por el apoyo para emprender esta tarea. Así mismo agradezco al Dr. Sergio Hernández Vázquez y la Dra. Thelma Castellanos Cervantes directores en su momento del Postgrado del CIBNOR y a los doctores Humberto Villarreal Colmenares y Ricardo Pérez Enríquez, directores también en su momento del Programa de Acuicultura, por brindarme todo el apoyo necesario en cada etapa de mi doctorado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por apoyar económicamente la realización de esta tesis a través del proyecto G-33593-B y de la beca otorgada 163478.

Mi más sincera gratitud para el Dr. Alfonso N. Maeda Martínez y el Dr. Roberto Mendoza Alfaro mis directores de tesis y amigos, de quienes recibí apoyo incondicional. Espero que la vida nos permita seguir trabajando juntos.

A mi Comité de Tesis Dr. Roberto Mendoza Alfaro, Dr. Carlos Aguilera González, Dr. Gabino A. Rodríguez Almaraz, Dr. Jesús Ángel de León González y Dr. Jesús Montemayor Leal, gracias por la revisión de este trabajo y gracias también por las observaciones.

A los Doctores Carlos J. Aguilera González, Jesús Ángel de León González y Gustavo Martínez Terrazas, miembros de mi Comité Tutorial, quienes se tomaron el tiempo, siempre amablemente, para dar seguimiento a mi trabajo.

A los miembros de mi Comité de Predoctorales, Dr. Carlos Aguilera González, Dr. Jesús Ángel de León González, Dr. Rahim Foroughbakhch Pournavab, Dr. Idelfonso Fernández Salas y Dr. Carlos Eduardo Hernández Luna, gracias por darme la oportunidad de estudiar, por revisar mis trabajos y por hacerme sentir bien durante el examen.

No quiero dejar pasar por alto mi agradecimiento al Dr. Carlos Aguilera González por tomarse muchas molestias para apoyarme administrativamente. Gracias también por los consejos. También al Dr. Jesús Montemayor Leal por apoyarme con muchos pendientes en la última etapa de este trabajo.

Al Dr. Jorge García Pámanes, rector de la Universidad Autónoma de Baja California Sur, por haberme permitido realizar los experimentos en la Unidad Pichilingue. Especialmente gracias al Dr. César Ruiz Verdugo y a la M. en C. Gabriela Roldán por habernos hecho sentir como en casa. Agradezco a la Biól. Abril Karim Romo Pinera y al Sr. Edgar Navarro Olachea por la producción de microalgas.

A los Ingenieros César Villegas Carrazco, Cuitlahuac Iriarte, Julio Erén Félix Domínguez y Ramón Barraza por aliarse con tanto entusiasmo y tan profesionalmente en el desarrollo del Simulador Térmico Marino.

La realización de esta tesis no hubiera sido posible sin el apoyo del Armando López Sánchez, Victor Ocaño Higuera, Ana Isabel Beltrán y César Ruiz Verdugo, para el mantenimiento de los organismos. Les estoy profundamente agradecida por la constancia, el cuidado y por los desvelos.

No menos importante fue el apoyo que recibí de mi gran amigo Jesús Bautista Romero y mi querido hermano Mauro Sicard González por quienes me apoyaron en todo para la realización de los experimentos y toma de muestras. Nunca podré expresar mi agradecimiento.

Gracias Edgar y Malú por apoyarme durante las disecciones y las determinaciones bioquímicas. Agradezco al personal del Laboratorio de Bioquímica Fisiológica particularmente a M. en C. Roberto Hernández Herrera.

A Ing. Edgar Yuen Sánchez y Lic. Ma. Esther Ojeda Castro de la Subdirección de Informática por la búsqueda de información siempre oportuna.

Gracias también por el apoyo a la querida Tía Félix durante los predoctorales y a mi hija perdida Maryam por ayudarme con algunas figuras y con la recopilación de referencias.

De manera especial agradezco a Lupita mi mano derecha siempre atenta de mis necesidades y a Marthita mi querida amiga, que bajo muchas circunstancias me ha ofrecido su casa y su paciencia, para apoyar a mis hijos, para ambas no hay palabras para agradecerles el cariño hacia mis hijos.

A mis queridos amigos, por los ánimos, por la convivencia y porque sin ser mi familia, han llegado a formar parte importante de mi vida.

A mi gran familia: a Ma. Teresa y Mauro, mis papás, gracias por enseñarme la importancia de estudiar y apoyarme en decisiones importantes que he tomado en mi vida. Gracias a Ustedes estoy aquí. A Mauro, Jesús, Pepe y Enrique (mis hermanos), a Olga y Daniel (mis suegros), a Lupita, Yoyis, Daniel, Montse, Liliana y Gabriel (mis hermanos adoptivos), a Lili, Nathalíe, Maryam, Luyén, Olguita, Gaby, Enrique, Maurito, Dany y Arturo (mis sobrinos). A todos gracias por la convivencia, las porras y el cariño. Es una suerte que la vida los haya puesto a todos en mi camino, como familia.

A las personas que han creído en mi y a diario, han apoyado todas mis acciones para concretar esta tarea, Salvador, Salvador Jr. y Rodrigo, gracias por el amor y su infinita paciencia.

DEDICATORIA

A Salvador, mi amor,
amigo y padre
maravilloso.
Nunca cambies.

A Salvador y Rodrigo,
fuentes de inspiración,
las mieles de mi vida.
Los amo profundamente.

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
I	Descriptores básicos de las series de alta frecuencia (RAF) derivadas de termógrafos en Laguna Manuela y Rancho Bueno y de los cuadrantes extraídas de la base ERSST de baja resolución.....	20
II	Temperaturas óptimas y tolerancias térmicas de especies algunas especies de interés acuacultural en Baja California y Baja California Sur, México.....	26
III	Tiempos de respuesta del simulador térmico marino SITMA, durante una simulación de incremento y decremento repentinos en el rango completo del simulador ($\Delta 24\text{ }^{\circ}\text{C}$), a diferentes flujos de agua.....	39
IV	Anomalías térmicas promedio máximas y mínimas registradas en el simulador térmico marino SITMA, aplicando un modelo sinusoidal de 1ciclo/día en el rango completo del simulador ($10\text{-}34\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\Delta 24\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	43
V	Distribución de los ejemplares de almeja mano de león (<i>Nodipecten subnodosus</i>) en los tanques de los laboratorios 1 y 2, durante las tres etapas del experimento. Se indican la temperatura y el régimen térmico de exposición de cada tanque.....	60
VI	Densidad de almeja mano de león (<i>Nodipecten subnososus</i>) de altura de la concha entre 6-7 mm utilizada en los diferentes periodos de mantenimiento.....	75
VII	Tasa de ingestión (#céls /g/h x 10^7) de la almeja mano de león, <i>Nodipecten subnodosus</i> (67.4 ± 3.1 mm de altura), sometidos a temperaturas estables y oscilantes, al inicio y al final de un periodo de exposición de 13 días.....	77
VIII	Tasa de ingestión (#céls/g/h x 10^7) de almeja mano de león, <i>Nodipecten subnodosus</i> (67.4 ± 3.1 mm de altura) sometida a temperaturas oscilantes, medida a diferentes horas del día, los días 1, 8 y 13 del experimento.....	78
IX	Tasa de absorción (J/g/h) de la almeja mano de león <i>Nodipecten subnodosus</i> (67.4 ± 3.1 mm de altura), sometidos a temperaturas estables y oscilantes, al inicio y al final de un periodo de exposición de 13 días.....	82
X	Tasa de absorción (J/g/h) de almeja mano de león, <i>Nodipecten subnodosus</i> (67.4 ± 3.1 mm de altura) sometida a temperaturas oscilantes, medida cada tres horas los días 1, 8 y 13 del experimento..	83

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
XI	Tasa respiratoria (mLO ₂ /g/h) de la almeja mano de león, <i>Nodipecten subnodosus</i> (67.4 ± 3.1 mm de altura), sometidos a temperaturas estables y oscilantes, al inicio y al final de un periodo de exposición de 13 días.....	86
XII	Tasa respiratoria (mLO ₂ /g/h) de almeja mano de león, <i>Nodipecten subnodosus</i> (67.4 ± 3.1 mm de altura) sometida a temperaturas oscilantes, medida a diferentes horas del día, los días 1, 8 y 13 del experimento.....	87
XIII	Tasa de excreción (mgNH ₄ /g/h) de la almeja mano de león, <i>Nodipecten subnodosus</i> (67.4 ± 3.1 mm de altura), sometidos a temperaturas estables y oscilantes, al inicio y al final de un periodo de exposición de 13 días.....	89
XIV	Tasa de excreción (mgNH ₄ /g/h) de almeja mano de león, <i>Nodipecten subnodosus</i> (67.4 ± 3.1 mm de altura) sometida a temperaturas oscilantes, medida a diferentes horas del día, los días 1, 8 y 13 del experimento.....	90
XV	Tasa de potencial de crecimiento (J/g/h) de la almeja mano de león, <i>Nodipecten subnodosus</i> (67.4 ± 3.1 mm de altura), sometidos a temperaturas estables y oscilantes, al inicio y al final de un periodo de exposición de 13 días.....	93
XVI	Potencial de crecimiento (J/g/h) de almeja mano de león, <i>Nodipecten subnodosus</i> (67.4 ± 3.1 mm de altura) sometida a temperaturas oscilantes, medido cada tres horas los días 1, 8 y 13 del experimento.....	94
XVII	Potencial de crecimiento y promedios de las tasas fisiológicas en valores absolutos y porcentuales, registradas a temperaturas estables y oscilantes a diferentes días de medición.....	104
XVIII	Cálculos empleados para la determinación de moléculas en los diferentes tejidos de <i>Nodipecten subnodosus</i>	117
XIX	Prueba de Tukey para demostrar diferencias significativas (P < 0.05) de la concentración de reservas energéticas en los diferentes órganos de la almeja mano de león, <i>Nodipecten subnodosus</i> 67.4 ± 3.1 mm de altura de la concha a lo largo del experimento.....	128
XX	Concentración de carbohidratos, glucógeno y proteínas en diferentes órganos de almeja mano de león (<i>Nodipecten subnodosus</i>), expuesta a tres tratamientos de temperatura estables y oscilantes, al inicio y al final de un período experimental de 13 días.....	130

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
XXI	Concentración de lípidos, triglicéridos y colesterol en diferentes órganos de almeja mano de león (<i>Nodipecten subnodosus</i>), expuesta a tres tratamientos de temperatura estables y oscilantes, al inicio y al final de un período experimental de 13 días.	131
XXII	Rangos de concentración de sustancias de reserva en diferentes órganos de los pectínidos almeja catarina (<i>Argopecten ventricosus</i>) y (<i>Nodipecten subnodosus</i>).....	137

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Ubicación geográfica del Complejo Lagunar Bahía Magdalena, Baja California Sur, México.....	12
2.	Ubicación geográfica del termógrafo de alta frecuencia colocado en la zona de Rancho Bueno, Baja California Sur, México.....	14
3.	Ubicación geográfica del termógrafo de alta frecuencia colocado en Laguna Manuela, Baja California Sur, México.....	16
4.	Registro de datos de temperatura de alta frecuencia obtenidos de los termógrafos instalados en Laguna Manuela y Rancho Bueno...	19
5.	Serie de anomalías de temperatura del mar derivada de la base ERSST, mostrando el promedio de los cuadrantes extraídos para Rancho Bueno y Laguna Manuela y su suavizado. Distribución de frecuencias de la serie completa de anomalías (1903-2004).....	21
6.	Valores mensuales del año tipo para Laguna Manuela y Rancho Bueno a partir de los termógrafos y la base ERSST, diferencias y análisis de regresión entre bases de datos	22
7.	Distribución de frecuencia de los valores de tasa horaria y diaria en Laguna Manuela y Rancho Bueno	24
8.	Distribución de frecuencias (%) de la temperatura en Laguna Manuela y Rancho Bueno.....	27
9.	Esquema representativo de las partes que componen el Simulador Térmico Marino, equipo diseñado para simular oscilaciones térmicas de 6 tanques simultánea e independientemente.....	34
10.	Diagrama de flujo del programa de cómputo SITMA.....	35
11.	Pantalla del Simulador Térmico Marino donde se muestra el intervalo de temperaturas que maneja el equipo (10-40°C). Curva de simulación agregada por el usuario y menú principal del programa de cómputo.....	36
12.	Registro de las temperaturas del aire y de la entrada de agua hacia los tanques donde se instaló el Simulador Térmico Marino para evaluar el tiempo de respuesta de este equipo al aplicar un modelo de grecas 10-34-10 °C.	38

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
13.	Diferencias entre la temperatura programada en el Simulador Térmico Marino y la temperatura real ante un incremento o decremento repentino en el rango máximo del simulador ($\Delta 24^{\circ}\text{C}$).....	40
14.	Registro de las temperaturas del aire y de la entrada de agua hacia los tanques donde se instaló el Simulador Térmico Marino para evaluar la capacidad de control térmico del equipo al aplicar un modelo sinusoidal de dos ciclos por día ($22 \pm 12^{\circ}\text{C}$) en relación al flujo.....	41
15.	Diferencias encontradas entre el modelo teórico aplicado al programa del Simulador Térmico Marino y las temperaturas registradas a diferentes flujos.	42
16.	Localización del sitio de colecta de los juveniles de almeja mano de león (<i>Nodipecten subnodosus</i>) en la Laguna de Guerrero Negro, Baja California Sur, México.....	56
17.	Sistema de flujo y alimentación continuos para el mantenimiento de los ejemplares de almeja mano de león (<i>Nodipecten subnodosus</i>).....	58
18.	Sistema de flujo continuo para monitoreo de tasas fisiológicas utilizado con la almeja mano de león (<i>Nodipecten subnodosus</i>).....	63
19.	Sensor de oxígeno de fibra óptica (microoptode) del oxímetro Microx TX montado en una celda de flujo continuo, el cual aparece colocado a la salida del distribuidor de cuatro vías para las determinaciones de oxígeno disuelto.....	67
20.	Ejemplo del registro de oxígeno disuelto desplegado en la pantalla de la computadora personal conectada al oxímetro Microx TX durante un experimento.....	67
21.	Registro de temperatura en uno de los tanques de cada tratamiento oscilante durante las tres etapas del experimento.....	71
22.	Raciones alimenticias proporcionadas durante la aclimatación de almeja mano de león (<i>Nodipecten subnodosus</i>) de 65 mm aproximados de altura de la concha.....	73
23.	Raciones alimenticias proporcionadas durante la aclimatación de ejemplares de almeja mano de león (<i>Nodipecten subnodosus</i>) de altura de concha aproximada de 65mm en los tanques experimentales durante la etapa de aclimatación.....	74

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
24.	Raciones alimenticias proporcionadas en los diferentes tanques durante el periodo experimental a los ejemplares de almeja mano de león (<i>Nodipecten subnodosus</i>) de altura de concha aproximada de 65mm.....	74
25.	Tasa de ingestión de la almeja mano de león, <i>Nodipecten subnodosus</i> (67.4 ± 3.1 mm de altura de la concha) registrada cada 3h durante el día 8, sometida a los tratamientos de temperatura 21 ± 2 °C, 24 ± 2 °C y 28 ± 2 °C.....	79
26.	Tasa respiratoria de la almeja mano de león, <i>Nodipecten subnodosus</i> (67.4 ± 3.1 mm de altura) registrada cada 3 h durante el día 8 del experimento, sometida a los tratamientos oscilantes de temperatura 21 ± 2 °C, 24 ± 2 °C y 28 ± 2 °C.....	85
27.	Tasa de excreción de la almeja mano de león, <i>Nodipecten subnodosus</i> (67.4 ± 3.1 mm de altura) registrada cada 3 h durante el día 8 del experimento, sometida a los tratamientos oscilantes de temperatura 21 ± 2 °C, 24 ± 2 °C y 28 ± 2 °C.....	91
28.	Potencial de crecimiento de la almeja mano de león, <i>Nodipecten subnodosus</i> (67.4 ± 3.1 mm de altura) registrada cada 3 h durante el día 8 del experimento, sometida a los tratamientos oscilantes de temperatura 21 ± 2 °C, 24 ± 2 °C y 28 ± 2 °C.....	95
29.	Altura final promedio de la concha de almeja mano de león (<i>Nodipecten subnodosus</i>) sometida a tres tratamientos de temperatura, estable y oscilante, durante 13 días de experimentación.....	96
30.	Peso seco final de tejidos final de almeja mano de león (<i>Nodipecten subnodosus</i>) sometida a tres tratamientos de temperatura estable y oscilante durante 13 días de experimentación.....	97
31.	Supervivencia de la almeja mano de león (<i>Nodipecten subnodosus</i>) durante la etapa de pre-aclimatación.....	98
32.	Supervivencia de la almeja mano de león (<i>Nodipecten subnodosus</i>) durante la etapa de aclimatación.....	99
33.	Supervivencia de la almeja mano de león (<i>Nodipecten subnodosus</i>) durante la etapa experimental.....	99

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
34.	Correlación del potencial de crecimiento, tasa de absorción, tasa respiratoria y tasa de excreción con la temperatura, en la almeja mano de león (<i>Nodipecten subnodosus</i>) expuesta a condiciones oscilantes de temperatura.....	103
35.	Procedimiento para el procesamiento de muestras de tejidos de músculo y gónada de la almeja mano de león, <i>Nodipecten subnodosus</i> para análisis bioquímicos de carbohidratos, glucógeno, triglicéridos y colesterol.....	113
36.	Procedimiento para el procesamiento de muestras de manto de la almeja mano de león, <i>Nodipecten subnodosus</i> para análisis bioquímicos de carbohidratos, glucógeno, triglicéridos y colesterol.....	113
37.	Procedimiento para el procesamiento de muestras de glándula digestiva de la almeja mano de león, <i>Nodipecten subnodosus</i> para análisis bioquímicos de carbohidratos, glucógeno, triglicéridos y colesterol.....	114
38.	Procedimiento para determinación de carbohidratos y glucógeno en tejidos de la almeja mano de león, <i>Nodipecten subnodosus</i> , utilizando la modificación al método de Antrona propuesta por Van-Handel (1965).....	116
39.	Procedimiento para la determinación de proteínas en tejidos de almeja mano de león, <i>Nodipecten subnodosus</i> , utilizando la técnica de Bradford (1976).....	119
40.	Procedimiento para la determinación de lípidos totales en tejidos de almeja mano de león, <i>Nodipecten subnodosus</i> , utilizando el método de Barnes y Blackstock (1973).....	121
41.	Procedimiento para la determinación de triglicéridos y colesterol en tejidos de almeja mano de león, <i>Nodipecten subnodosus</i> utilizando el método de GPO-PAP.....	123
42.	Contenido bioquímico de diferentes sustancias de reserva encontradas en los tejidos de almeja mano de león, <i>Nodipecten subnodosus</i> 67.4 ± 3.1 mm de altura de la concha, sometidos a diferentes tratamientos y regímenes térmicos a lo largo de un periodo de experimentación de 13 días.....	127

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice		Página
A	Información Técnica del Simulador Térmico Marino.....	166
B	Lista de trabajos de fisiología energética por especie de moluscos bivalvos obtenidos de Base de datos ASFA: Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts	168
C	Estudios de realizados en pectínidos de las tasas fisiológicas implicadas en la ecuación de balance energético en relación a diferentes factores. ASFA: Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts.....	173

TABLA DE CONTENIDO

	Página
Resumen.....	1
Abstract.....	2
Introducción	3
Justificación e Importancia	5
Hipótesis	6
Objetivos.....	6
Capítulo 1 Variaciones Térmicas en los Sitios Potenciales de Cultivo de la Almeja Mano de León	
Antecedentes.....	7
Objetivo.....	9
Métodos.....	10
Registro de temperatura de Alta Frecuencia.....	10
Análisis de Datos.....	17
Resultados.....	18
Discusión	24
Conclusiones.....	29
Capítulo 2 Control de Temperatura Oscilante en el Laboratorio	
Antecedentes.....	30
Objetivo.....	32
Descripción del Sistema.....	32
Operación del SITMA.....	33
Evaluación del SITMA	36
Métodos.....	37
Tiempo de respuesta del SITMA en relación al flujo.....	37
Capacidad de Control Fino del SITMA en Relación al Flujo...	37
Resultados.....	38
Tiempo de Respuesta del SITMA en relación al flujo.....	38
Capacidad de Control Fino del SITMA en Relación al Flujo...	40
Discusión.....	43
Conclusiones.....	46
Capítulo 3 Efecto de la temperatura oscilante sobre el potencial de crecimiento de la almeja mano de león	
Antecedentes.....	47
Objetivo.....	54
Métodos.....	54

	Organismos Experimentales.....	54
	Diseño Experimental.....	56
	Potencial de Crecimiento.....	59
	Tasa de Absorción.....	61
	Eficiencia de absorción.....	64
	Tasa Respiratoria.....	65
	Tasa de Excreción.....	68
	Efecto de los tratamientos térmicos sobre la talla y el peso seco de tejidos.....	68
	Supervivencia	69
	Análisis Estadísticos	70
Resultados	70
	Temperatura de los tanques.....	70
	Raciones alimenticias.....	71
	Potencial de crecimiento.....	75
	Tasa de Absorción	75
	Tasa de Ingestión.....	75
	Eficiencia Absorción.....	80
	Cálculo de la Tasa de Absorción.....	80
	Tasa Respiratoria.....	84
	Tasa de Excreción.....	88
	Cálculo del Potencial de Crecimiento.....	92
	Efecto de los tratamientos térmicos sobre la talla y el peso seco de tejidos.....	96
	Supervivencia.....	97
	Discusión.....	100
	Conclusiones.....	106
	Capítulo 4 Efecto de la temperatura oscilante en la condición de la almeja mano de león	
	Antecedentes.....	107
	Objetivo.....	111
	Métodos.....	111
	Obtención y preservación de tejidos.....	111
	Determinación y almacenamiento de sustancias de reserva.....	112
	Carbohidratos.....	114
	Glucógeno.....	117
	Proteínas.....	118
	Lípidos Totales.....	120
	Triglicéridos.....	122
	Colesterol.....	124
	Análisis estadísticos	124
Resultados.....		125
	Gónada.....	128
	Glándula Digestiva.....	132
	Manto.....	133
	Músculo.....	135

Discusión.....		136
Conclusiones.....		142
Conlusiones Generales.....		144
Recomendaciones.....		145
Literatura Citada.....		147
Apéndices		166
Información Publicada	Frequent monitoring of temperatura an essential requeriment for site selection in bivalve aquaculture in tropical-temperature transition zones.....	176
Resumen Curricular		

LISTA DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
CHOS	Carbohidratos
COL	Colesterol
E	Contenido de material orgánico de la heces
EA	Eficiencia de Absorción
ERSST	Registros térmicos de baja frecuencia
F	Contenido de material orgánico del alimento
Fj	Flujo del agua a través de la cámara
GCG	Glucógeno
LD ₅₀	Temperatura letal media (dosis letal media)
PC	Potencial de Crecimiento
POM	Materia Orgánica Particulada
PS	Peso Seco
RAF	Registros térmicos de Alta Frecuencia
SITMA	Simulador Térmico Marino
TA	Tasa de Absorción
TE	Tasa de Excreción
TG	Triglicéridos
TH	Tasa de producción de Heces
TI	Tasa de Ingestión
TR	Tasa Respiratoria
TU	Tasa de producción de desechos nitrogenados

RESUMEN

Se realizó una investigación para describir la variabilidad térmica de dos cuerpos de agua con potencial para la acuicultura de moluscos en la costa occidental de la Península de Baja California. Se compararon los registros de temperatura de bases públicas de baja resolución espacio-temporal (ERSST) contra los de alta frecuencia (RAF) obtenidos con termógrafos en los mismos sitios. Para ello, se compararon las temperaturas promedio, máxima y mínima, el rango térmico y los meses más cálidos y fríos en cada zona. Se propuso un método para la selección de sitios de cultivo en base a las características térmicas de las zonas con las temperaturas óptimas para crecimiento y los límites de tolerancia térmicos de algunas especies de moluscos. Se diseñó, construyó y evaluó la capacidad termorreguladora de un simulador térmico marino (SITMA) para comparar el efecto de la temperatura estable vs. la oscilante en *Nodipecten subnodosus* (6-7 cm de altura de la concha) en tanques de 70 L con flujo y alimento continuos, por periodos prolongados. La evaluación del SITMA incluyó el tiempo de respuesta ante cambios extremos de temperatura y la capacidad de control fino aplicando un modelo sinusoidal ($22 \pm 12^{\circ}\text{C}$) de 1 ciclo/día. El efecto de la temperatura estable vs. oscilante en *Nodipecten subnodosus* se midió en el laboratorio a través del potencial de crecimiento, el crecimiento real, la supervivencia y la condición de los organismos. Los resultados de variabilidad térmica en las zonas de cultivo indicaron fluctuaciones máximas de ΔT 10.78°C . Se demostró que los ERSST no reflejaron la temperatura registrada con los termógrafos por lo que no resultan recomendables los ERSST para la selección de sitios y se sugiere registrar la temperatura de forma permanente. El tiempo de respuesta máximo de SITMA fue de 5.52 h a un gasto de 203 ± 4.1 mL/min. Las anomalías térmicas con respecto al modelo sinusoidal fueron menores a 0.5°C , a 100 mL/min. La tasa de absorción fue el componente más importante en el cálculo del potencial de crecimiento, seguido por la respiración y la excreción nitrogenada tanto a condiciones estables como oscilantes. La energía potencial de crecimiento fue tres veces mayor a temperaturas oscilantes que a temperaturas estables debido a la estimulación de la tasa de ingestión, lo cual produjo un incremento de 11.4 J/g/h en la tasa de absorción. Estas diferencias resultaron en una mayor biomasa ($P < 0.05$) en los organismos oscilantes. Como resultado de una mayor energía, los organismos de los tratamientos oscilantes maduraron reproductivamente y desovaron prematuramente que a temperaturas estables, lo cual produjo una menor condición en los tratamientos oscilantes. La supervivencia de los organismos mantenidos a temperaturas oscilantes, con excepción de los del tratamiento $28 \pm 2^{\circ}\text{C}$, fue mayor a pesar de una mayor frecuencia de eventos reproductivos. Con los resultados del presente trabajo se recomienda el estudio de las causas que estimulan la filtración de partículas ante las condiciones oscilantes de temperatura y aplicar esquemas de temperatura oscilante en los procedimientos de maduración de reproductores y de cultivo de larvas y juveniles en los laboratorios de crianza de moluscos.

ABSTRACT

Water temperature variability was studied in two potential sites for mollusk aquaculture in the West coast of Baja California Peninsula. Frequent monitoring of temperature (FMT) for over one year was analyzed in terms of hourly, daily and monthly variability. With this information, temperature-change indices were calculated. These data were contrasted against a long-term series from a global database (Extended Reconstruction of Sea Surface Temperature (ERSST)) to evaluate whether these could substitute for FMT. A methodology based on correlating temperature data frequencies with optimum temperature for growth and upper lethal temperatures of several mollusk species was proposed for site selection. An automatic marine temperature simulator (SITMA) was designed, built and tested to compare the effect of constant vs. oscillating temperatures on the scope for growth (SFG), biomass growth, survival and condition of 6-7 cm shell height lions-paw scallop *Nodipecten subnodosus*. The SITMA was designed to control the temperature in 70 L tanks with an open water flow, and was evaluated by means of the time response at extreme programmed temperatures, and the departures from an oscillating model of 22 ± 12 °C, 1 cycle/day. Results indicated a maximum temperature range of $\Delta 10.78$ °C in the studied sites. ERSST data did not reproduce the FMT data, and therefore it was concluded that the former data sets are not suitable for site selection. The need of a permanent temperature recording program in potential aquaculture sites was revealed. The maximum response time of SITMA was 5.5.2 h at 203 ± 4.1 mL/min flow rate. Maximum temperature anomalies within the sinusoidal model were lower than 0.5 °C at 100 mL/min flow. Absorption rate was the component within higher significance in SFG equation, followed by respiration and excretion rates. SFG was nearly three times higher at oscillating compared to constant temperatures, which was produced by an increased filtration rate (24%). This increment resulted in 11.4 J/g/h enhancement of absorption rate and a higher ($P < 0.05$) final biomass at oscillating temperatures. The higher energy at oscillating conditions produced faster gonad maturation and spawning which reduced the substrate concentrations in the tissues. In spite of these reproductive events, survival was higher in oscillating treatments (with the exception of 28 ± 2 °C). Overall, these results, suggest to study the causes stimulating filtration under oscillating temperatures and also, to apply oscillating regimes for broodstock maturation and culture of larvae and juveniles in bivalve hatcheries.

INTRODUCCIÓN

La acuicultura es una alternativa importante para la producción de alimentos a nivel mundial. Consiste en el cultivo de organismos acuáticos hasta su cosecha e incluye el procesamiento y la comercialización del producto (Wheaton, 1982). Las estadísticas indican que la acuicultura tuvo un rápido desarrollo durante la segunda mitad del siglo veinte. Dicha expansión está relacionada con la creciente demanda de los productos pesqueros y la incapacidad de las pesquerías mundiales para cubrir esa demanda. Particularmente, el cultivo de moluscos bivalvos a nivel mundial ha representado un componente muy importante en la alimentación y la economía mundial (Arellano-Martínez, 2005). En México, a pesar de contar con amplias extensiones de cuerpos de agua protegidos, bajos niveles de contaminación y alta productividad de sus aguas, la acuicultura de moluscos es una actividad reciente e incipiente. No obstante, que el país cuenta con gran variedad de especies nativas de bivalvos. La gran aceptación comercial que tiene la almeja mano de león, se debe al buen sabor del músculo abductor conocido como “callo”. Sin embargo, los estudios se han centrado en muy pocas especies como el callo de hacha, la almeja catarina, las ostras perleras, el mejillón y la almeja mano de león. Esta última (*Nodipecten subnodosus* Sowerby, 1835), es un molusco pectínido que se distribuye desde las costas del Perú hasta la Laguna Ojo de Liebre, en Baja California Sur, México (Keen, 1971) y su explotación se ha dado en el Noroeste de México durante los últimos 20 años precisamente en esta Laguna. Sin embargo, las capturas han mostrado un incremento desde 1996 y una relativa estabilización a partir del 2000, alrededor de las 100 t de callo (Ponce-Díaz *et al.*, en preparación). Un kilogramo de callos de almeja mano de león se obtiene a partir de 40 ejemplares de 12 cm de altura de la concha en promedio y presenta un valor comercial de 14 dólares americanos al mayoreo (Ponce-Díaz *et al.*, en preparación). Por otra parte, el cultivo de la almeja

mano de león es una alternativa viable no sólo para incrementar la producción, sino también llevar a cabo programas de restablecimiento de los bancos naturales. El éxito de la acuicultura de este molusco se ve apoyado por los conocimientos generados en el cultivo del pectínido *Argopecten ventricosus* (almeja catarina) en Baja California Sur. La reproducción controlada para la producción de juveniles en el laboratorio de mano de león, ha tenido logros importantes, aunque aún no se logra la producción sostenida. Por lo anterior, es necesario seguir trabajando sobre el desarrollo de alternativas tecnológicas y la profundización de conocimientos sobre la biología básica de esta especie.

JUSTIFICACION E IMPORTANCIA

A pesar de que las observaciones realizadas en el medio natural muestran que los organismos están sujetos a cambios térmicos continuos, la gran mayoría de los estudios se refieren a efectos de temperatura estable. La presente investigación es un estudio multidisciplinario, que aporta información científica sobre la importancia de registrar la temperatura con alta frecuencia, en los cuerpos de agua costeros potenciales para cultivo, particularmente en la costa occidental de la Península de Baja California Sur (Capítulo 1). Posteriormente, se evaluó el efecto de las oscilaciones térmicas sobre aspectos fisiológicos, como el potencial de crecimiento, la condición y el crecimiento neto, de la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*), un pectínido de importancia económica (Capítulo 3). Para lograr este objetivo se presenta el diseño, desarrollo y las pruebas realizadas a un equipo llamado Simulador Térmico Marino, que por primera vez, replica las variaciones térmicas registradas en campo (Capítulo 2). Los resultados abren la posibilidad y realzan la importancia de realizar estudios fisiológicos, en las especies a temperaturas oscilantes.

HIPÓTESIS

La oscilación térmica produce una energía potencial, tasa de crecimiento y condición fisiológica menores que la encontrada en almejas expuestas a una condición estable de temperatura, debido al mayor gasto energético que impone la compensación metabólica.

OBJETIVOS

General

Estudiar el efecto de la temperatura oscilante, sobre la fisiología de la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*).

Particulares

1. Comparar los registros térmicos de alta frecuencia de dos sitios potenciales de cultivo de la almeja mano de león con datos históricos obtenidos de bases públicas de baja resolución espacio-temporal.
2. Describir y evaluar el desempeño del Simulador Térmico Marino (SITMA).
3. Estudiar el efecto de la temperatura oscilante sobre la energía potencial de crecimiento, el crecimiento y la supervivencia de la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*).
4. Determinar el efecto de la temperatura oscilante sobre la condición de la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*).

CAPÍTULO 1

VARIACIONES TÉRMICAS EN LOS SITIOS POTENCIALES DE CULTIVO DE LA ALMEJA MANO DE LEÓN (*Nodipecten subnodosus*)

ANTECEDENTES

La temperatura es considerada como el factor que limita la distribución, abundancia y el nivel de actividad en organismos poiquiloterms (Bayne, 1976). Afecta directa e indirectamente la supervivencia de larvas, juveniles y adultos, e influye en la reproducción, determinando la maduración de gametos, desove, desarrollo embrionario, duración del periodo planctónico y asentamiento larvario (Kinne, 1970). Además, interviene en la velocidad de los procesos fisiológicos, provocando variaciones en el metabolismo y por consiguiente en las necesidades energéticas, la condición, el estado de salud y el crecimiento (Bernabé, 1991). Por todo lo anterior, las iniciativas de cultivo de moluscos bivalvos dependen del conocimiento sobre las limitantes y preferencias fisiológicas de la especie ante variables críticas, como la temperatura, y de la apropiada caracterización y selección de sitios propuestos. Sin embargo, se conoce poco sobre las preferencias térmicas de las especies de interés.

Por otra parte, la selección de sitios de cultivo generalmente se restringe a la verificación de la existencia de la especie en la zona candidata para el desarrollo de la actividad. La correcta selección de sitios, es necesario empatar las preferencias y las limitantes fisiológicas de las especies a cultivar con las características ambientales de los sitios. La importancia de ambos aspectos es generalmente minimizada, trayendo en consecuencia fracasos en los proyectos de producción emprendidos.

De las 54 especies nativas de moluscos que se distribuyen en la costa del Pacífico Mexicano (Baqueiro 1984) y que son consideradas como candidatas para cultivo, sólo cinco han sido estudiadas ecofisiológicamente (*Argopecten ventricosus*, *Nodipecten subnodosus*, *Atrina maura*, *A. tuberculosa* y recientemente *Crassostrea corteziensis*). También se han realizado estudios en la especie introducida de ostión japonés (*Crassostrea gigas*).

En relación a pectínidos se han determinado las temperaturas óptimas de crecimiento y límites superior e inferior para la almeja catarina (Nieves-Soto 1988, Monsalvo-Specer *et al.*, 1997; Sicard, 1999; Sicard *et al.*, 1999) y para la almeja mano de león (González-Estrada, 2003). Las temperaturas óptimas para crecimiento han sido determinadas en laboratorio mediante el registro de variables como tasas de crecimiento o la estimación de índices como el marco de actividad (Fry, 1947), de crecimiento (Warren y Davis, 1967), y la eficiencia de irrigación (Jørgensen, 1960) a diferentes temperaturas. Los niveles superior e inferior de tolerancia térmica fueron estimados sobre la base de niveles letales (LD₅₀), a diferentes tiempos de exposición.

Respecto de la caracterización ambiental, la costa occidental de la península de Baja California, se encuentra ubicada en una región de transición templado-tropical (Lluch-Belda *et al.*, 2003a), en donde ocurren intensas fluctuaciones climáticas a diferentes escalas temporales: horarias, diurnas, estacionales, interanuales, decadales y tendencias de mayor periodo (Ponce-Díaz *et al.*, 2003; Lluch-Belda *et al.*, 2003b,c; Lluch-Cota *et al.*, 2001). Existen descripciones de los niveles de variabilidad natural para el sistema de la Corriente de California (Lynn y Simpson, 1987, Lluch-Belda *et al.*, 2003a,b,c). Estas caracterizaciones permiten evaluar el grado de respuesta de esta región ante variaciones

ambientales de baja frecuencia como la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO; Lluch-Cota *et al.*, 2001) y El Niño-Oscilación del Sur (ENSO; Schwing *et al.*, 2002a). Sin embargo, aunque esta información es necesaria, posiblemente no refleje variaciones que ocurren en los sitios de cultivo. Esto se debe a que la caracterización ambiental descrita se fundamenta en bases de datos derivadas principalmente de monitoreos puntuales en distintos horarios, cruceros de oportunidad e imágenes de satélite, por lo que es necesario corroborar la información con monitoreos de alta frecuencia.

A nivel local son pocas las descripciones y los esfuerzos de monitoreo en sitios potenciales de cultivo. Lluch-Belda *et al.* (2000) realizaron un análisis de datos históricos de temperatura en el interior de Bahía Magdalena (la parte central del complejo lagunar) y pudieron caracterizar la estructura espacial de la distribución de temperatura, pero temporalmente únicamente la escalas estacional, interanual y tendencias de mayor periodo. Ponce-Díaz *et al.* (2003) realizaron una descripción multiescala de la variabilidad térmica, desde los cambios entre horas hasta variaciones de baja frecuencia, pero únicamente en Bahía Asunción, B.C.S. El reto es mantener una red de monitoreo amplia durante un periodo suficientemente largo con equipos de registro continuo. Para ello, es necesaria la apropiada coordinación de esfuerzos entre instituciones.

OBJETIVO

Comparar los registros térmicos de alta frecuencia de dos sitios potenciales de cultivo de la almeja mano de león con datos históricos obtenidos de bases públicas de baja resolución espacio-temporal.

MÉTODOS

El método consistió en comparar los datos históricos obtenidos de bases públicas de baja resolución espacio-temporal y de termógrafos instalados en localidades seleccionadas que registraron la temperatura en alta frecuencia por más de un año. En el primer caso se consideró la base NOAA NCDC ERSST V. 2 disponible en el portal de Internet del Instituto Internacional para la Predicción del Clima (IRI/LDEO Climate Data Library website; <http://iridl.ldeo.columbia.edu>). Esta base fue recientemente integrada por Smith y Reynolds (2004), aplicando métodos estadísticos sofisticados para extender e interpolar la base Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (COADS; comunicación personal J. J. Bautista-Romero, CIBNOR). Los datos del ERSST se extrajeron para dos cuadrantes de 2° latitud por 2° de longitud centradas en 22°N, 115°W (Rancho Bueno) y 28°N, 112°W (Laguna Manuela) y para 54 años (1949 a 2003).

Registro de Temperatura de Alta Frecuencia

Los registros de alta frecuencia se tomaron en las localidades de Rancho Bueno y Laguna Manuela, en la parte occidental de la Península de Baja California, México. Para ello se emplearon termógrafos digitales marca Onset Optic Stow Away Temp Modelo WTA32-5+37 (Onset Computer Corporation, Bourne, MA, USA), que fueron programados para registrar las variaciones térmicas que se presentan en el agua cada 30 minutos y la información almacenada fue recuperada en una PC por medio de una interfase para su análisis posterior. Rancho Bueno es un canal de mareas ubicado en la

zona sureste del Complejo Lagunar Bahía Magdalena (Figura 1) a 170 Km de la Ciudad de La Paz (24°19'N; 111°24'W) (Figura 2). Este complejo lagunar se localiza en la costa del Pacífico de la Península de Baja California, México (24°50' - 25°42' N y 111°30' - 112°10' W) y ocupa un área de 1,390 km² (Álvarez-Borrego *et al.*, 1975). Está dividida en tres zonas principales: la noroeste, tiene una forma irregular caracterizada por poseer numerosas lagunas y pantanos someros de manglar de 7 m de profundidad promedio. La zona central conocida propiamente como Bahía Magdalena, tiene comunicación directa con el Océano Pacífico por medio de una boca ancha entre Isla Santa Margarita e Isla Magdalena. Esta bahía alcanza profundidades de hasta 38 m. Finalmente, la zona sureste, conocida como Bahía Almejas, se conecta con el mar por medio de una boca somera. Ambas bahías se comunican entre sí por un canal de 25 m de ancho y 30 m de profundidad (Contreras, 1985; Figura 1). Maeda *et al.* (1993), hicieron una descripción detallada de este complejo lagunar.

Al sur de Bahía Almejas se encuentra Rancho Bueno. Tiene 8 Km de longitud, 0.5 Km de ancho y una profundidad máxima de 5 m con fuertes corrientes causadas por un rango de mareas de 2.25 m (Mendoza-Salgado y Lechuga-Devéze, 1995). Esta área se encuentra influenciada por la Corriente de California que acarrea agua fría la mayor parte del año (Álvarez-Borrego *et al.*, 1975). La batimetría no es uniforme ya que tiene áreas planas mareales y submareales, canales primarios y secundarios. Los sedimentos

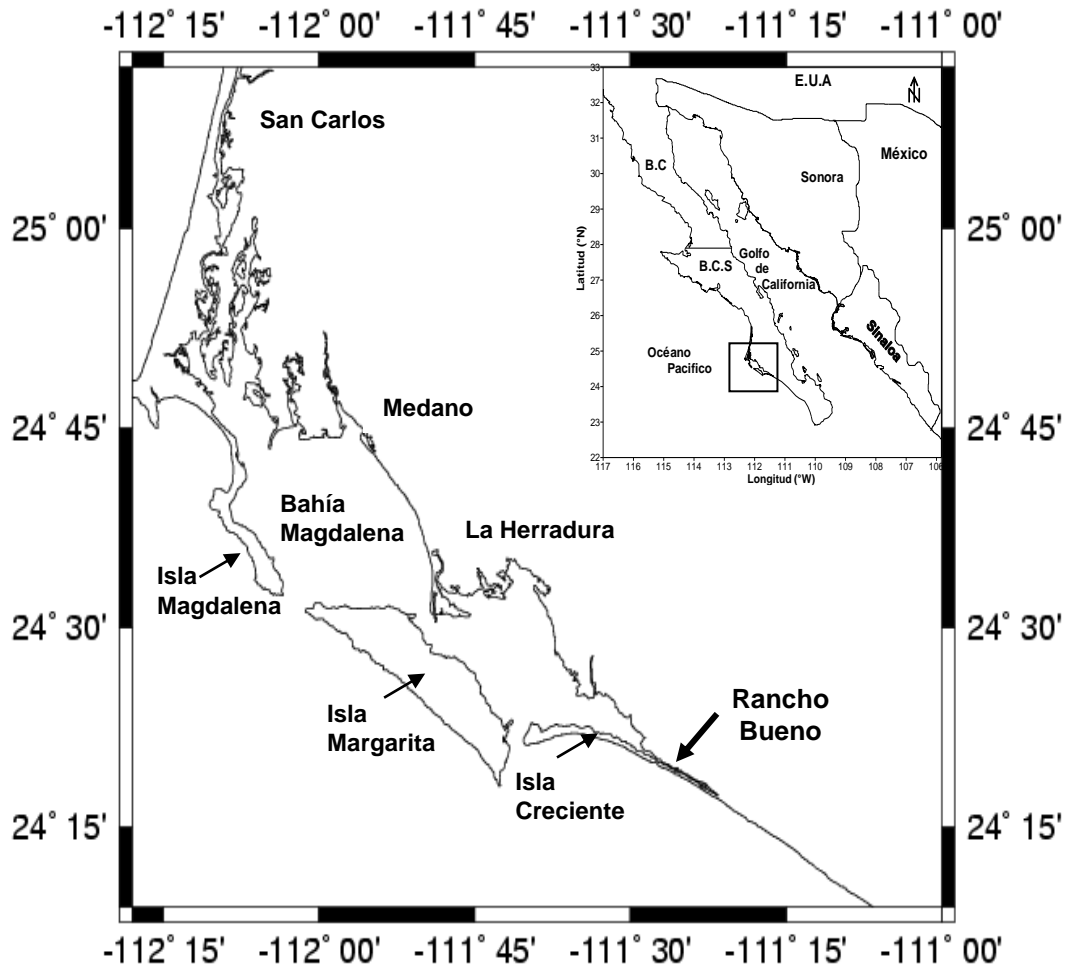


Figura 1. Ubicación geográfica del Complejo Lagunar Bahía Magdalena, Baja California Sur, México.

varían de arena en la boca a fango en la cabeza del canal. Las áreas submareales planas se encuentran a lo largo del canal y contribuyen con aproximadamente 42 ha del área total. El complejo Lagunar Bahía Magdalena ha sido reconocido como una zona importante debido a que en ella se han establecido poblaciones de moluscos bivalvos que se explotan comercialmente. Dentro de las especies mas importantes se pueden mencionar la almeja catarina (*Argopecten ventricosus*; Massó-Rojas, 1996), la almeja pata de mula (*Anadara tuberculosa*; Hernández-Valenzuela ,1996), la almeja voladora (*Pecten vogdesi*; Keen, 1971), el hacha china o hacha de riñón (*Pina maura*), hacha

negra o hacha lisa (*Atrina sp*), hacha botijona (*Atrina oldroydii*; Vélez-Barajas y Fajardo-León, 1996) y el ostión de piedra (*Crassostrea fishery* y *C. iridescens*; Vélez-Barajas, 1996). Particularmente, Rancho Bueno ha sido considerado por varias empresas como un sitio idóneo para el establecimiento de cultivo de bivalvos, dado que es una zona protegida del mar abierto, con canales suficientemente profundos que acarrean agua rica en fitoplancton. Con fines de manejo para los cultivos, el canal fue dividido por la empresa Cultivos Técnicos del Mar Sudcaliforniano S. A. de C.V. a lo largo en cuatro zonas marcadas con boyas. La profundidad promedio en la marea mas baja fue de 0.5, 0.75, 0.5 y 0.75 m en la zonas 1, 2 3 y 4, respectivamente (Figura 2; Maeda-Martínez *et al.*, 2000). Para el presente trabajo, el registro de temperatura de Rancho Bueno se realizó en la Zona 2, sujetando el termógrafo digital a una línea de un cultivo en suspensión a una profundidad de 2 m.

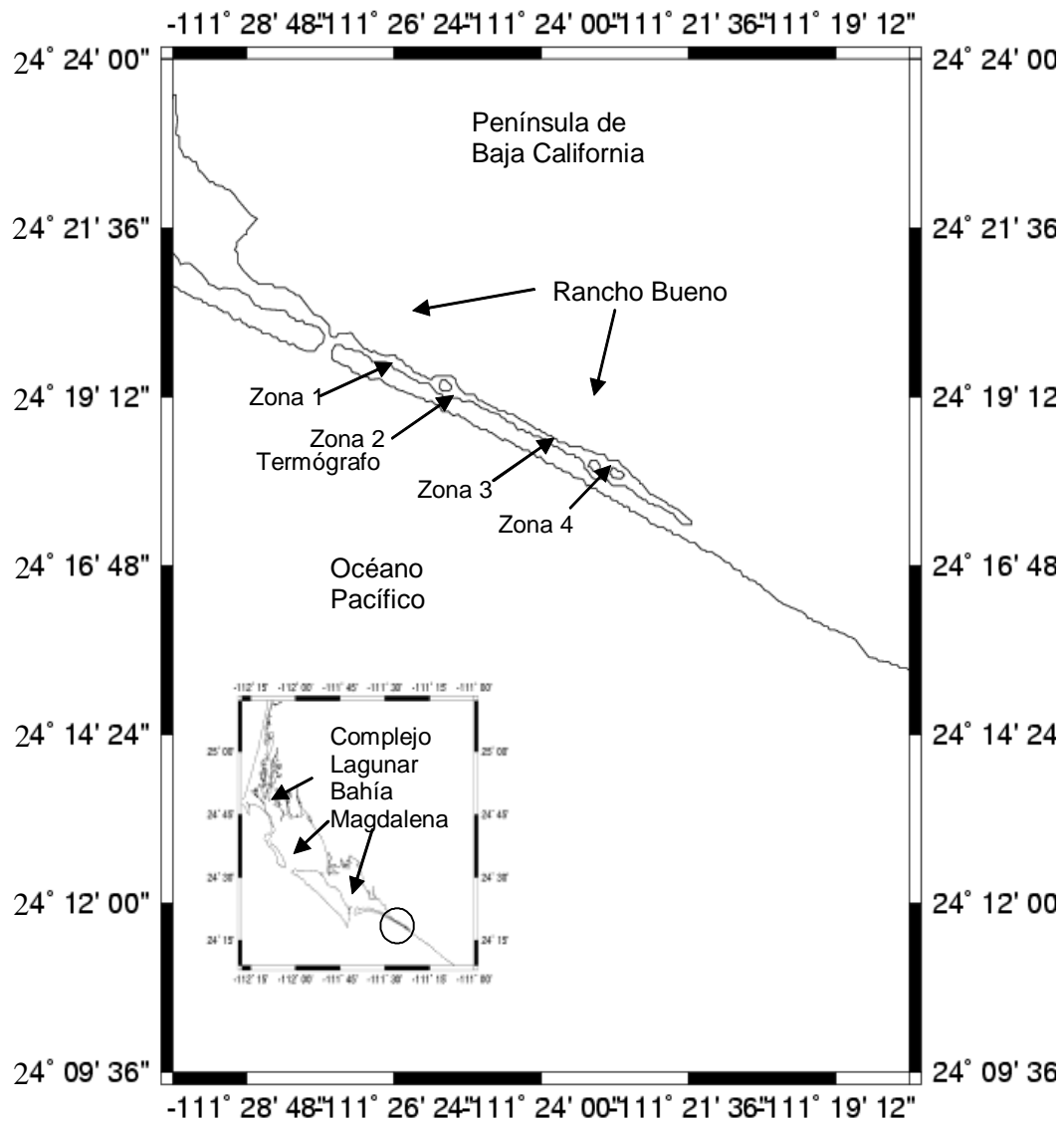


Figura 2. Ubicación geográfica del termógrafo de alta frecuencia colocado en la Zona 2 en Rancho Bueno, Baja California Sur, México.

Laguna Manuela, es una laguna ubicada en la zona norte del Complejo Lagunar Ojo de Liebre (Figura 3). Se localiza a 18 Km del ejido Villa Jesús María y a 40 Km de la ciudad de Guerrero Negro, Baja California ($28^{\circ} 12' - 28^{\circ} 17' \text{ N}$ y $114^{\circ} 06' - 114^{\circ} 07' \text{ W}$). Laguna Manuela, es un humedal de 2,700 ha. Tiene 18 km de largo y 1.5 km de ancho abriéndose en su boca. La batimetría no es uniforme, tiene un canal principal de 3 a 5 m de profundidad máxima, el cual se continúa a lo largo de la costa. La mayor

parte de la laguna posee numerosas marismas. También se encuentran planicies intermareales estuarinas, las principales ubicadas tanto en la cabeza del canal, como en la zona suroeste, norte central y hacia ambos lados de la boca. Se encuentran pastos marinos a todo lo largo de ambas costas del canal. En la zona noreste del canal, se observa una playa arenosa abierta que da origen a la boca del canal. Al igual que Bahía Magdalena, Laguna Manuela se encuentra influenciada por la Corriente de California que acarrea agua fría la mayor parte del año (Álvarez-Borrego *et al.*, 1975).

Laguna Manuela ha sido una zona de explotación pesquera, que en muchos casos ha llevado al agotamiento casi completo de los algunos recursos. Algunas de las especies de moluscos bivalvos de importancia económica que habitan en este sitio son la almeja catarina (*Argopecten ventricosus*; Massó-Rojas, 1996), almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*; Morales-Hernández y Cáceres-Martínez, 1996), callo de hacha (*Atrina maura*; Velez-Barajas y Fajardo-León 1996) y almeja pismo (*Tivela stultorum*; Massó-Rojas y Fajardo-León, 1996). Actualmente se están llevando a cabo actividades de cultivo de *Nodipecten subnodosus* y de ostión japonés *Crassostrea gigas*.

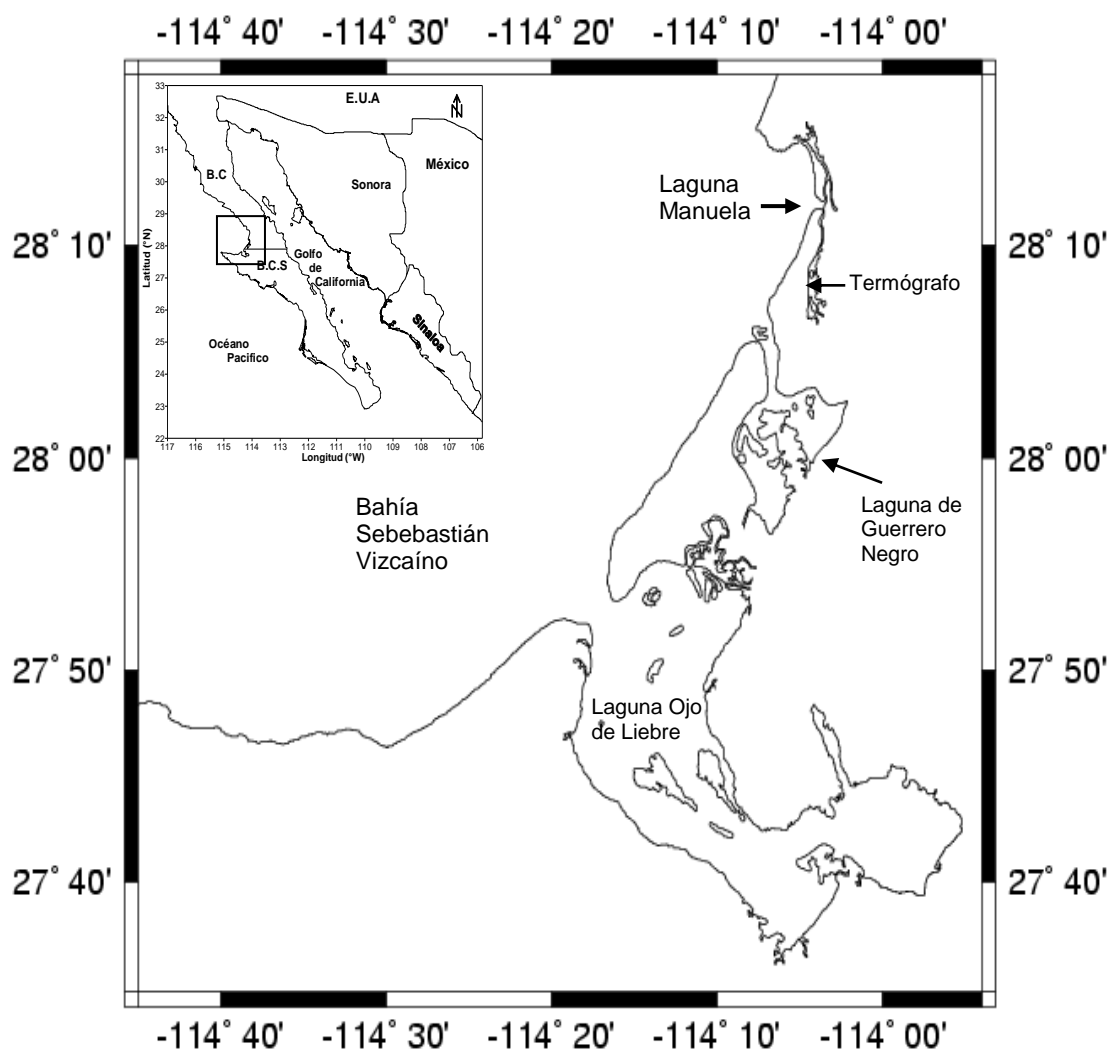


Figura 3. Ubicación geográfica del termógrafo de alta frecuencia colocado en Laguna Manuela, Baja California Sur, México.

El termógrafo se fijó en las camas del cultivo de la empresa Marimex del Pacífico, S.A. de C.V. localizadas a 28°08'13.6"N, 114°04'18.9"W, en el bordo Este del canal principal, en la parte sur de la laguna a 1.9 m de profundidad (Figura 3).

Análisis de Datos

A partir de los datos de baja resolución (ERSST) se calculó el valor promedio, máximo y mínimo para el periodo y para cada mes. Se promediaron meses repetidos (por ejemplo, se estimó el promedio de todos los eneros en la serie) con lo que se generó una climatología (1945 a 2003) y a partir de ésta se estimó la amplitud anual como la diferencia entre el mes más cálido y el mas frío. Se determinó también la tasa mensual (diferencias absolutas de temperatura entre meses consecutivos).

Las series de alta frecuencia fueron procesadas de manera similar, se calculó el valor máximo y mínimo para el periodo registrado y para cada mes. Se promediaron meses repetidos (por ejemplo, se estimó el promedio de todos los eneros en la serie) con lo que se generó una climatología (los 12 valores mensuales) y a partir de ésta se estimó la amplitud anual como la diferencia entre el mes más cálido y el más frío. Además se calcularon las variables de tasa horaria (diferencias absolutas de temperatura entre horas consecutivas a lo largo de las series) y la tasa diaria (diferencias absolutas de temperatura entre el valor máximo y el mínimo en periodos de 12 horas para cada serie, considerando periodos consecutivos a cada paso de tiempo de una hora). Adicionalmente, se generó la distribución de frecuencias de los datos de temperatura para cada sitio.

Con la intención de identificar hasta que grado el periodo muestreado por los termógrafos podía considerarse normal (sin eventos climáticos extremos), se graficó una serie de anomalías mensuales (cada valor mensual menos el valor del mes promedio correspondiente; por ejemplo, el valor de enero de 1980 menos el enero de la

climatología), un suavizado de esa serie (promedios móviles de 11 términos). Para demostrar que el periodo reciente (2001-2004) no fue anómalo, su distribución de frecuencias se comparó con la de la serie completa de anomalías (1903-2004).

También se realizaron dos análisis de regresión lineal entre los valores mensuales del año tipo entre datos provenientes del registro de alta frecuencia (RAF) contra los datos provenientes de la base de baja frecuencia (ERSST) para ambos citos, Laguna Manuela como Rancho Bueno.

RESULTADOS

La Figura 4 muestra los registros de los termógrafos instalados de Rancho Bueno y Laguna Manuela. El termógrafo de Laguna Manuela registró las temperaturas durante 27 meses entre diciembre del 2001 a marzo del 2004, excepto entre diciembre del 2002 a febrero del 2003 y otro en diciembre del 2003 (Tabla 1). En el caso de Rancho Bueno se cuenta con 15 meses de registro ininterrumpidos de febrero de 2001 a mayo del 2002. Los resultados mostraron que Rancho Bueno fue un sitio más calido respecto a Laguna Manuela presentando una diferencia de 3.64°C entre los valores promedio de ambos sitios (Tabla I). Se observó que la diferencia entre la temperatura máxima registrada y la mínima (rango de temperatura) fue mayor para Laguna Manuela (19.56°C) respecto a Rancho Bueno (15.27°C).

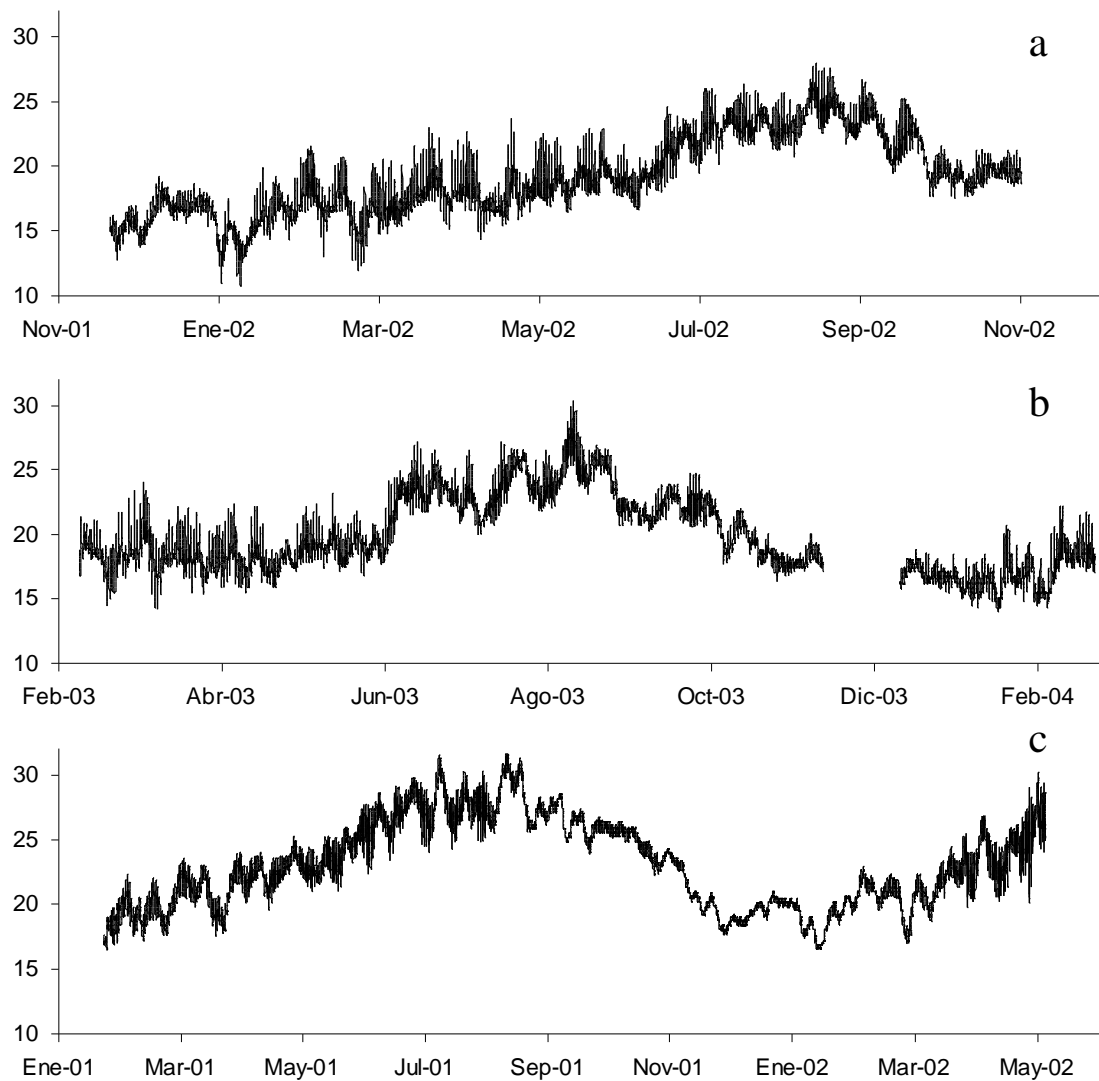


Figura 4. Registro de datos de temperatura de alta frecuencia obtenidos de los termógrafos instalados en Laguna Manuela (a y b) y Rancho Bueno (c).

TABLA I

Descriptores básicos de las series de alta frecuencia (RAF) derivadas de termógrafos en Laguna Manuela y Rancho Bueno y de los cuadrantes extraídos de la base ERSST de baja resolución.

	Laguna Manuela		Rancho Bueno	
	RAF	ERSST	RAF	ERSST
Periodo Registrado	12/2001-03/2004	1903-2004	02/2001-05/2002	1903-2004
Huecos de Información	12/2002-02/2003, 12/2003	-	-	-
Temperatura promedio (C)	19.38	18.18	23.02	22.44
Temperatura Máxima (C)	30.27	22.95	31.58	28.74
Temperatura Mínima (C)	10.71	14.17	16.31	16.96
Rango de Temperatura (C)	19.56	8.78	15.27	11.78
Mes más cálido	Septiembre	Septiembre	Agosto	Septiembre
Mes más frío	Febrero	Marzo	Diciembre	Abril

La Figura 5 muestra la serie de anomalías del promedio de los dos cuadrantes del ERSST, junto con la serie de eventos en el NOI descritos por Schwing *et al.* (2002b). En esta figura, las anomalías de ambos cuadrantes presentaron las mismas tendencias, y se observa que los eventos extremos interanuales se reflejan en las anomalías del ERSST lo que indica que los eventos que son importantes a una escala interanual. También, se observa que el periodo en el que se mantuvieron los termógrafos en campo (señalado con la líneas horizontales al extremo derecho del panel superior de la gráfica), corresponde a un periodo sin anomalías importantes, cercano a las condiciones normales.

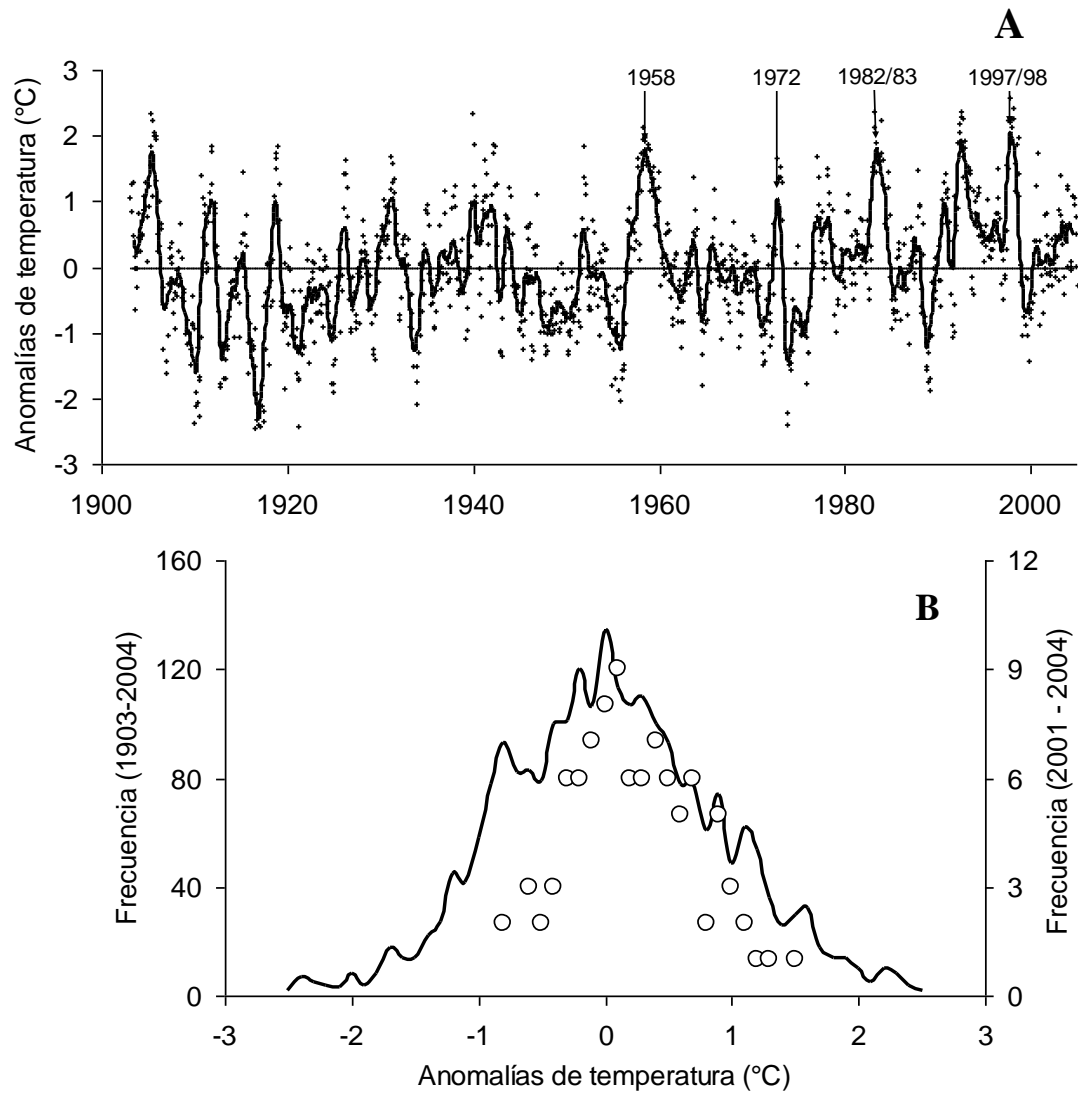


Figura 5. A: serie de anomalías de temperatura del mar derivada de la base ERSST, promedio de los cuadrantes extraídos para Rancho Bueno y Laguna Manuela y su suavizado (promedios móviles). B: distribución de frecuencias de la serie completa de anomalías (1903-2004; línea continua) y del periodo que abarcan los termógrafos (2001-2004; círculos blancos), donde se muestra que el periodo en que existen mediciones en campo no muestra desviaciones importantes respecto de la serie completa; es decir, que se trata de años normales.

En las Figuras 6a y 6b se compararon los valores promedio mensuales de los cuadrantes de los ERSST contra los termógrafos, encontrándose diferencias importantes de hasta 4°C (Figuras 6c y 6d), con valores más elevados en los termógrafos, especialmente en el verano. En las Figuras 6e y 6f se presentan las regresiones lineales aplicadas a los datos

obtenidos para la serie ERSST contra los valores obtenidos por los termógrafos para ambas localidades. Este análisis muestra que el coeficiente de determinación mayor se obtuvo para la regresión de Laguna Manuela ($R^2 = 0.73$) en relación al obtenido para Rancho Bueno ($R^2 = 0.45$).

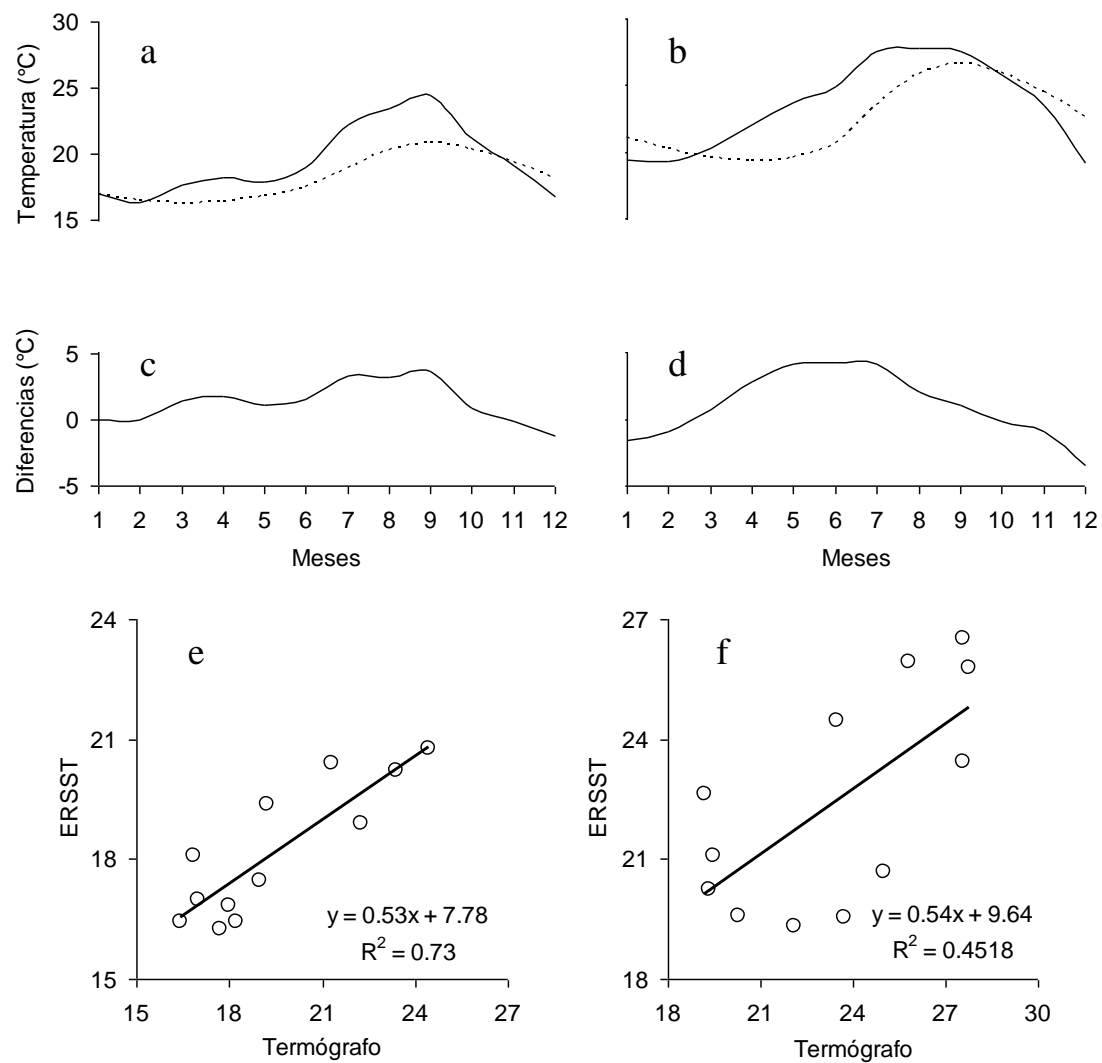


Figura 6. Valores mensuales del año tipo para Laguna Manuela (a) y Rancho Bueno (b) a partir de los termógrafos (línea continua) y la base ERSST (línea punteada), diferencias (c, d) y análisis de regresión entre bases de datos (e, f).

Las amplitudes anuales (la diferencia entre los valores mensuales máximo y mínimo del año promedio) también mostraron diferencias entre localidades y fuentes de información. La mayor amplitud anual según los datos de termógrafo de alta frecuencia se encontró en Laguna Manuela con una diferencia de 19.56 °C. En comparación con Rancho Bueno con 15.27 °C. En contraste los mayores datos de amplitud derivados del ERSST fueron de 8.78 y 11.78 °C respectivamente, para cada localidad. Ambas fuentes de información coincidieron en septiembre como el mes más cálido en Laguna Manuela pero difieren en el frío, siendo febrero según los termógrafos y marzo según el ERSST. Para Rancho Bueno la información del termógrafo indica que agosto es el mes más cálido, mientras que según el ERSST es septiembre. Para el mes más frío se encontró una fuerte discrepancia entre bases, siendo diciembre según los termógrafos y abril según el ERSST.

En la Figura 7 se muestra la distribución de frecuencias de la tasa horaria y la diaria de temperatura para ambos sitios. En esta figura, se observó un patrón general similar, aunque los datos de Rancho Bueno muestran mayor frecuencia y valores de tasa de cambio mas altos que en Laguna Manuela. Cerca del 60% de los cambios de temperatura entre horas consecutivas son de alrededor de 0.6 °C /h en ambas localidades, con algunos cambios de hasta 1.5°C/h. La tasa diaria mostró que más del 20% de los valores de cambio se encuentran en el orden de 1.5 a 2.0 °C/día en ambas localidades, con algunos valores extremos (2%) de hasta 6 °C/día en Rancho Bueno.

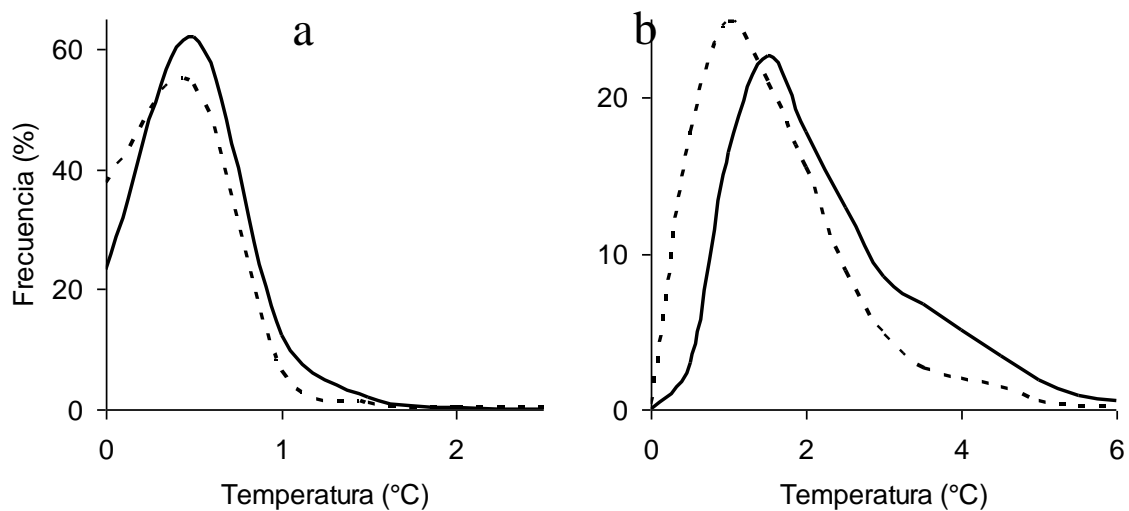


Figura 7. Distribución de frecuencia de los valores de tasa horaria (a) y diaria (b) en Laguna Manuela (líneas punteadas) y Rancho Bueno (línea continua).

DISCUSIÓN

En el presente capítulo se muestra una alta variabilidad de temperatura ambiental en las dos localidades estudiadas, Rancho Bueno y Laguna Manuela, observándose condiciones más cálidas y de mayor variabilidad en la primera. Al comparar las dos fuentes de información se encontraron fuertes diferencias incluso a nivel de valores mensuales promedio y amplitud de las fluctuaciones para ambos sitios. Esto indica que los registros de alta frecuencia son una opción útil para la caracterización ambiental de los sitios potenciales de cultivo. Para ello es necesario analizar: a) qué tan cerca se encuentran los valores promedio de la zona de los niveles óptimos para crecimiento de la especie de interés, b) verificar que los límites de tolerancia de la especie se encuentren fuera de la distribución de temperaturas de la localidad y c) hasta qué punto y de qué forma es afectada la fisiología de la especie por los cambios térmicos (tasa

horaria, tasa diaria, variaciones estacionales) y la amplitud de las oscilaciones térmicas existentes en la localidad. A pesar de la importancia de estas consideraciones, los registros de temperatura en los sitios de cultivo se realizan de manera inconsistente y puntual, teniéndose información deficiente.

Desafortunadamente las temperaturas óptimas de crecimiento y las temperaturas letales extremas sólo han sido estudiadas en cinco especies de moluscos en el Pacífico de México (Tabla II). En la Figura 8 se presenta la distribución de frecuencias de los registros de temperatura de alta frecuencia en las localidades, junto con los niveles óptimos y letales y los rangos de temperatura estudiados (Figura 8). De esta gráfica se desprende que Laguna Manuela es un sitio adecuado para el cultivo de *Crassostrea gigas*, *Argopecten ventricosus*, y *Nodipecten subnodosus* ya que los valores de temperatura óptimos se encuentran cerca de la moda de temperatura en ese sitio. En Rancho Bueno *C. gigas* se encontraría en condiciones subóptimas con un probable efecto en el crecimiento y calidad, pero no así el resto de las 5 especies.

TABLA II

Temperaturas óptimas y tolerancias térmicas de algunas especies de interés acuacultural en Baja California y Baja California Sur, México.

Especie	Estadio	Altura o longitud de concha (mm)	Método	Rango térmico estudiado (°C)	Temperatura óptima (°C)	Temperatura de aclimatación (°C)	Termotolerancia		Referencia
							Mínima (°C)	Máxima (°C)	
<i>Argopecten ventricosus</i>	Juvenil	22.3	Growth rates	20 - 28	20	20 - 28	-	-	Monsalvo-Spencer <i>et al.</i> , 1997
	Juvenil	18.1	LT ₅₀ .96h	16 - 33	-	19	-	29	Sicard-González, 1999
	Adultos	42.5	LT ₅₀ .96h	16 - 33	-	19	-	29	
	Juvenil	10.0	Marco de actividad, eficiencia de irrigación, crecimiento	12 - 28	19	12 - 28	-	-	Sicard-González <i>et al.</i> , 1999
	Juvenil	22.5	Tasa respiratoria	10 - 30	20	-	-	-	Silva-Loera, 1986
	Adultos	48.4	Tasa respiratoria	10 - 30	20	-	-	-	
<i>Atrina maura</i>	Juvenil	23.0	LT ₅₀ .96h	19 - 35	-	22	-	33.2	Leyva-Valencia <i>et al.</i> , 2001
	Juvenil	23.0	Marco de actividad, eficiencia de irrigación, crecimiento	16 - 29	29	16 - 29	-	-	
	Adultos	98.0	Histología para estudios de maduración reproductiva	20 - 30	20	20 - 30	-	-	Rodríguez-Jaramillo <i>et al.</i> , 2001
<i>Atrina tuberculosa</i>	Adultos	190.0	Potencial de crecimiento	17 - 28	28	17 - 28	-	-	Nieves-Soto, 1988
<i>Crassostrea gigas</i>	Juvenil	10.0	LT ₅₀ .96h	30 - 45	-	15	-	32.5	Carvalho-Saucedo, 2003
					-	22	-	37.5	
					-	28	-	37.5	
	Juvenil	10.0	Tasa respiratoria	15 - 30	16.5	15 - 30	-	-	Salazar-Virgen, 2004
<i>Nodipecten subnodosus</i>	Juvenil	72.9	LT ₅₀ .96h	15 - 30	-	15	5.1	27.6	González-Estrada, 2003
					-	18	7.5	28.1	
	Juvenil	72.9	Marco de actividad, eficiencia de irrigación, crecimiento	15 - 30	22	15 - 30	-	-	González-Estrada, 2003
	Juvenil	72.9	LT ₅₀ .96h	15 - 30	-	22	7.5	28.0	
					-	26	7.5	28.5	
					-	30	12.5	31.4	
			Temperatura letal incipiente	15 - 30	-	15 - 30	< 3	32	

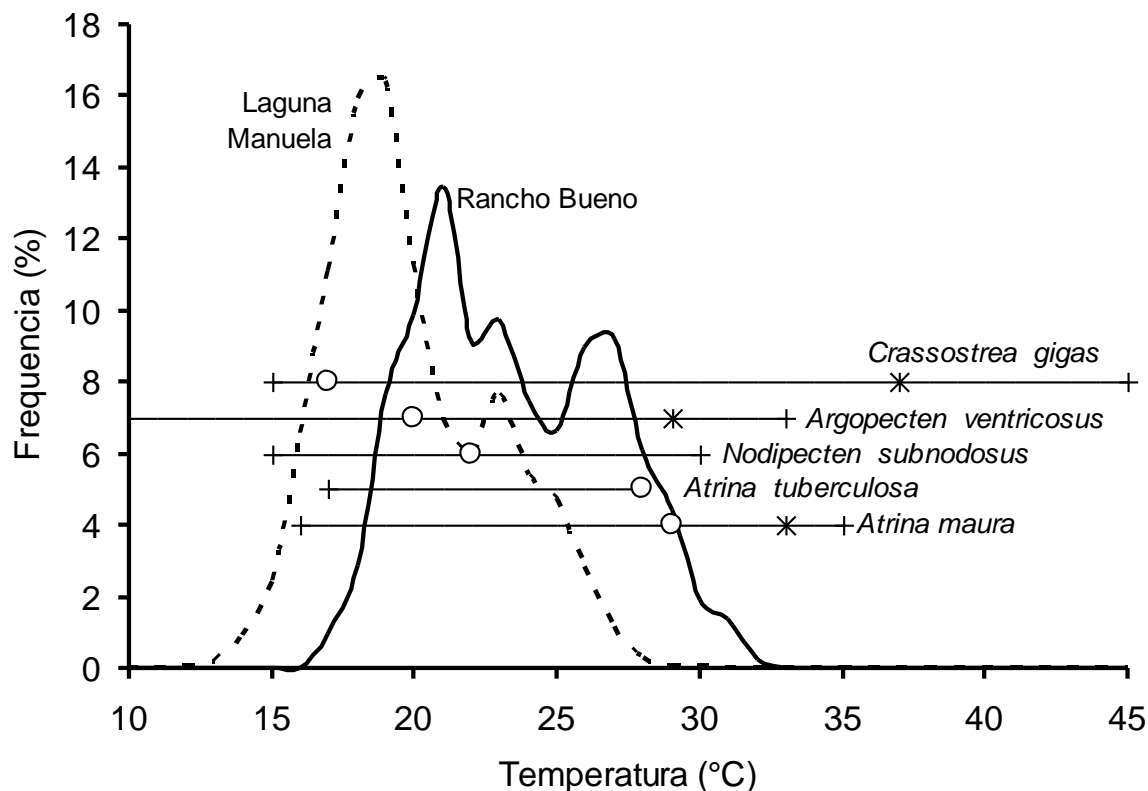


Figura 8. Distribución de frecuencias (%) de la temperatura en Laguna Manuela (línea continua) y Rancho Bueno (línea punteada). Las líneas horizontales punteadas representan el intervalo de temperaturas estudiadas, el círculo la temperatura óptima de crecimiento y las cruces la temperatura letal superior de cada una de las especies estudiadas.

En términos del límite letal superior de temperatura, la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*), es la más susceptible a las temperaturas altas de las 5 especies estudiadas con un LD₅₀ de 27.5 °C. Coincide con el límite de distribución de valores en Laguna Manuela, lo que indica que éste es un sitio ideal para el cultivo de la especie. En Rancho Bueno, el 14% de los valores de temperatura exceden el límite superior de la especie. Esto podría explicar la mortalidad (3 - >50%) obtenida por Koch *et al.* (2005) en San Carlos, B.C.S. una localidad muy cercana a Rancho Bueno en el

mismo complejo lagunar. Una situación similar se presenta en la almeja catarina (*Argopecten ventricosus*) en Rancho Bueno, aunque en este caso únicamente el 7 % de los datos se encuentran por encima de la LD₅₀ de la especie (29 °C) (Sicard *et al.*, 1999). La LD₅₀ del callo de hacha (*Atrina maura*) y del ostión japonés (*Crassostrea gigas*) se encuentran 2 y 5°C por encima de las temperaturas registradas para Laguna Manuela, mientras que para Rancho Bueno presentan una diferencia de 1 y 3°C respectivamente. Por lo que se concluye que son áreas potenciales de cultivo seguras para ambas especies. Sin embargo, es necesario aún registrar la temperatura en los sitios durante las condiciones anómalas. A partir de observaciones en otras localidades cabe esperar que durante un evento ENSO la amplitud de las fluctuaciones diarias disminuya pero se alcanzarían valores extremos varios grados por encima del promedio (Ponce-Díaz *et al.* 2003). Es posible que durante un evento cálido la curva de distribución de frecuencias que se muestra en la Figura 8 se moviera algunos grados hacia la derecha, superando los valores de LD₅₀ de algunas de las especies, incluso en Laguna Manuela. Ponce-Díaz *et al.* (2003) reportaron un incremento de 6 °C durante el evento extremo de 1997-98 en Bahía Asunción, a 110 km al sur de Laguna Manuela. Por otro lado, es relevante considerar que el método LD₅₀ de utilizado para la determinación de temperatura letal superior es únicamente un indicador, y que puede sobreestimar el límite real. En los experimentos basados en este método, los organismos son sometidos a cambios agudos de temperatura entre las condiciones de aclimatación y la simulada y son mantenidos en esta segunda condición por 96 horas. Estas condiciones extremas no se presentan en el medio natural.

CONCLUSIONES

- Las fuentes de información provenientes de registros de alta frecuencia (termógrafos) y de bases de datos de baja resolución (como los ERSST), proporcionan ambas información valiosa, distinta y complementaria.
- Los ERSST pueden darnos una idea de la variación espacio-temporal mayor y con ello anticipar, por ejemplo, la variación interanual o fenómenos relevantes como el ENSO que quedan fuera del alcance de los registros de alta frecuencia.
- La información proveniente de registros de temperatura de alta frecuencia proporcionan una mayor resolución sobre los eventos térmicos que pueden darse en una localidad que no puede apreciarse en los registros de baja frecuencia.
- Los sitios potenciales de cultivo estudiados (Rancho Bueno y Laguna Manuela), presentan alta variabilidad de temperatura, observándose condiciones más cálidas y de mayor variabilidad en Rancho Bueno.
- Los registros térmicos de alta frecuencia mostraron que Laguna Manuela representa un sitio ideal para el cultivo de la almeja mano de león por sus condiciones más templadas. El cultivo de esta especie en Rancho Bueno no se recomienda por presentar temperaturas fuera de sus límites de tolerancia.

CAPITULO 2

DESARROLLO Y EVALUACION DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA OSCILANTE EN EL LABORATORIO

ANTECEDENTES

A pesar de que las observaciones realizadas en el medio natural muestran que los organismos están sujetos a cambios térmicos continuos, llama la atención que la gran mayoría de los estudios se refieren a efectos de temperatura estable. Lo anterior, en parte, se debe a la dificultad para obtener patrones térmicos basados en registros de alta frecuencia en el campo y la incapacidad de reproducirlos en el laboratorio. A pesar de esto, los avances tecnológicos han permitido crear sensores de temperatura comerciales, que se programan en una computadora a la frecuencia deseada y almacenan la información por periodos prolongados. Por otro lado, el crear sistemas de control térmico automatizado, precisos y de fácil operación que permitan realizar estudios a largo plazo con temperatura oscilante, constituye un reto importante.

La investigación científica experimental enfocada al desarrollo de la acuicultura, requiere de sistemas de control de temperatura. La tendencia generalizada ha sido enfocada hacia el desarrollo de sistemas que mantienen la temperatura constante, haciendo que los organismos permanezcan independientes de los cambios ambientales (Sorgelos y Persoone, 1972; Winget *et al.*, 1973; Ebert *et al.*, 1974; Hettler, 1974; Nowak, 1974; Buchanan *et al.*, 1975; Hall *et al.*, 2002). Por otra parte, se han tratado de incrementar, combinar y mantener estable el número de factores que determinan el éxito de un cultivo, tales como temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH (Harrell *et al.*,

1989; Herman, 1995). El funcionamiento de estos sistemas ha consistido en mezclar agua contenida en dos reservorios a las condiciones extremas de la variable de estudio para crear el ambiente deseado, tanto en sistemas cerrados como abiertos. La mezcla se realiza mediante electro-válvulas controladas manualmente o mediante microprocesadores. Una alternativa más ha sido la fabricación de sistemas que permiten replicar las condiciones naturales para realizar estudios bajo condiciones similares a las encontradas en la naturaleza. Tal es el caso del sistema descrito por Sivertsen *et al.* (1983), el cual fue diseñado para incubar huevos de salmón bajo condiciones cercanas al punto de congelación típicas de la región Ártica. Lampert y Loose (1972), desarrollaron un acuario en forma de torres, donde simulaban las condiciones del medio natural para el estudio de plancton, logrando una estratificación de las variables físico-químicas a lo largo de la columna. Otra opción ha sido el desarrollo de sistemas que pueden generar gradientes térmicos (Thomas *et al.*, 1963; Rosas *et al.*, 1986; Reynolds, 1997; Rocha y Blanco, 1998; Chen y Chen, 1991; Espina *et al.*, 1993; Bückle *et al.*, 1994, 1996; Hetch, 1994; Hernández *et al.*, 1995, Hernández y Bückle, 1997; Bückle *et al.*, 2003), salinos (Doudoroff, 1938; Hodgson, 1951; Jones, 1947; Jansson, 1962; Hansen, 1972; Bückle *et al.*, 2003) y/o de concentración de oxígeno disuelto (Bückle *et al.*, 2003). Estos sistemas han sido utilizados para conocer las preferencias de organismos con capacidad de desplazamiento y medir su efecto sobre las variables fisiológicas. Kaiser (1990) utilizó tecnología de control y retroalimentación para crear un sistema automatizado que mantiene el monitoreo y control estable de diversas variables, tales como pH, amonio y temperatura en sistemas de recirculación de agua. A la fecha, no se ha encontrado un equipo que simule oscilaciones térmicas similares a las del medio natural en tanques con flujo abierto.

En el presente capítulo se describe un simulador térmico marino (SITMA) el cual fue desarrollado por ingenieros de la Unidad de Instrumentación Electrónica del CIBNOR en Hermosillo, Sonora. Además se mencionan los procedimientos para su operación y se presentan los resultados de la evaluación del sistema, en cuanto al tiempo de respuesta y de la capacidad de control térmico en relación al flujo.

OBJETIVO

Describir y evaluar el desempeño del Simulador Térmico Marino (SITMA)

Descripción del Sistema

El SITMA (Figura 9) es un sistema computarizado que controla la temperatura del agua en seis tanques de flujo continuo de 70 a 140 litros de capacidad, simultánea e independientemente dentro de un rango de 10 a 40 °C. El control se realiza mediante un calentador de titanio Area Inc. (modelo TYL12074-R15) de 1000 Watts (240V; 2.5 Amp) y un sistema de refrigeración doméstico de ¼ HP conectado a un serpentín de acero inoxidable de 6 m de longitud. El programa del SITMA compara la temperatura guardada en memoria para un tiempo en particular y dependiendo de la anomalía, enciende el enfriador o el calentador (Figura 10). El ajuste térmico fino se logra controlando la potencia del calentador en lugar del encendido y apagado total del mismo. La energía para los calentadores y enfriadores proviene de un centro control y de cargas de 51 x 31 x 21 cm de dimensiones externas, el cual contiene las tarjetas de

control e interfase y los relevadores para apagar o prender los efectores. A este gabinete se conectan los seis sensores de temperatura colocados en cada uno de los tanques experimentales para el registro de la temperatura real del agua de los tanques. Para lograr la homogeneidad de la temperatura dentro del tanque se coloca una bomba sumergible de 1/64 HP.

La tarjeta de interfase comunica el centro de cargas con una computadora personal en donde radica el software desarrollado para este propósito. En la Figura 11 se presenta la pantalla principal del SITMA. En el eje de las ordenadas se grafica la temperatura (10 °C min; 40 °C max) y en el de las abscisas el tiempo (h) (24h). En esta figura se puede observar una curva de temperatura sinusoidal en azul, la cual ha sido capturada por el usuario o bien puede ser copiada directamente de un termógrafo digital. Una vez que se ha puesto en operación, el programa va sobrescribiendo en esta pantalla (o marcando sobre la pantalla), puntos amarillos con la temperatura real proveniente de cada termómetro y de esa forma el usuario da seguimiento al experimento en tiempo real. Los valores deseados y los reales son guardados en memoria junto con los datos del experimento y las pantallas, las cuales se renuevan cada 24 h.

Operación del SITMA

El primer paso para operar el simulador es instalar los aparatos correctamente de acuerdo a lo indicado en el Apéndice A. Posteriormente se conecta el enfriador, calefactor y sensor correspondientes a cada tanque. Se enciende el equipo de cómputo y después el centro de cargas y control. Se ingresa al programa de cómputo SITMA en la sección de simulación para dar inicio a un nuevo experimento. Este programa creado en ambiente Windows, fue diseñado de acuerdo al diagrama de flujo de la Figura 10, el

cual primeramente solicitará los datos: a) nombre del experimento, b) número de tanque y c) archivo de simulación. Este último es un archivo de texto que tiene tres columnas: a) fecha, b) hora y c) temperatura a simular y deberá ser cargado en el directorio deseado. La misma operación se realiza para cada tanque y finalmente se pone en operación. De manera inmediata aparecerá una pantalla para cada tanque (Figura 11) presentando el gráfico con la simulación deseada. El SITMA tiene capacidad para controlar desde uno a seis tanques a la vez de manera independiente, el sistema puede funcionar con cinco o menos tanques. Cada pantalla además de mostrar la temperatura real graficada en tiempo real sobre la curva de simulación teórica, indicará el valor de temperatura real y simulada del momento, el estado del interruptor de encendido del enfriador y el porcentaje de potencia a la que está operando el calentador, la fecha y hora de inicio y final de la simulación, y la fecha y hora actuales (Figura 11).

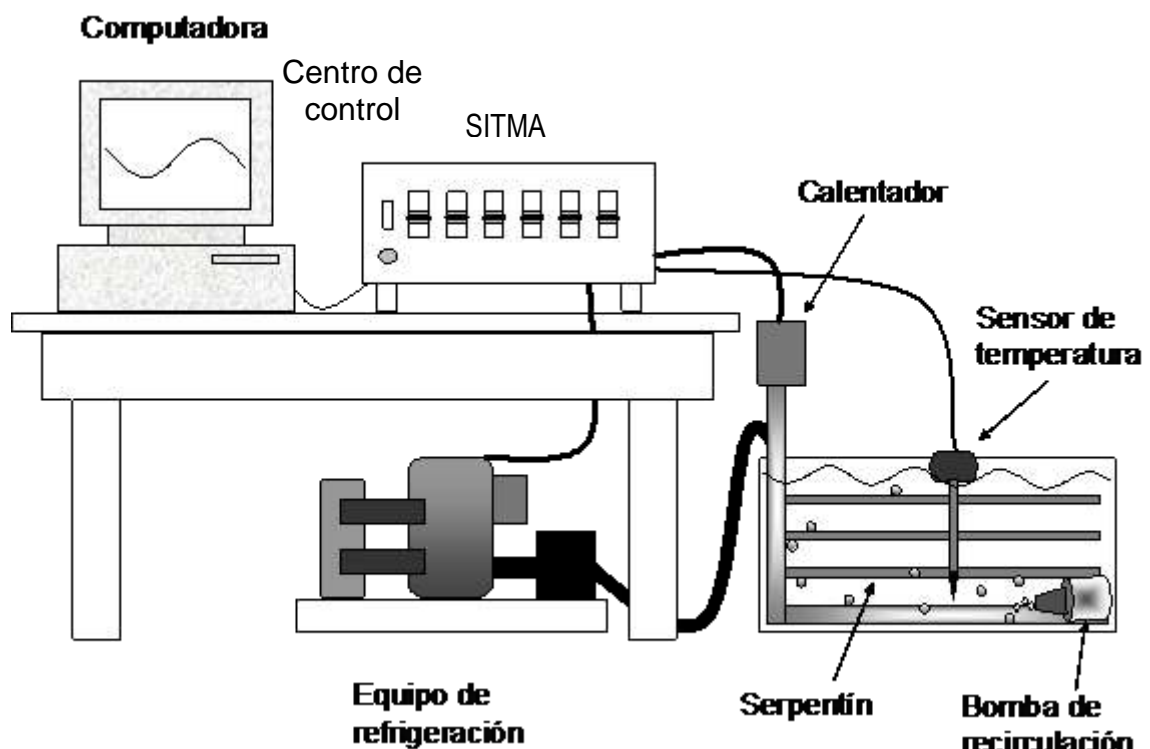


Figura 9. Esquema representativo de las partes que componen el Simulador Térmico Marino, equipo diseñado para simular oscilaciones térmicas de 6 tanques simultánea e independientemente.

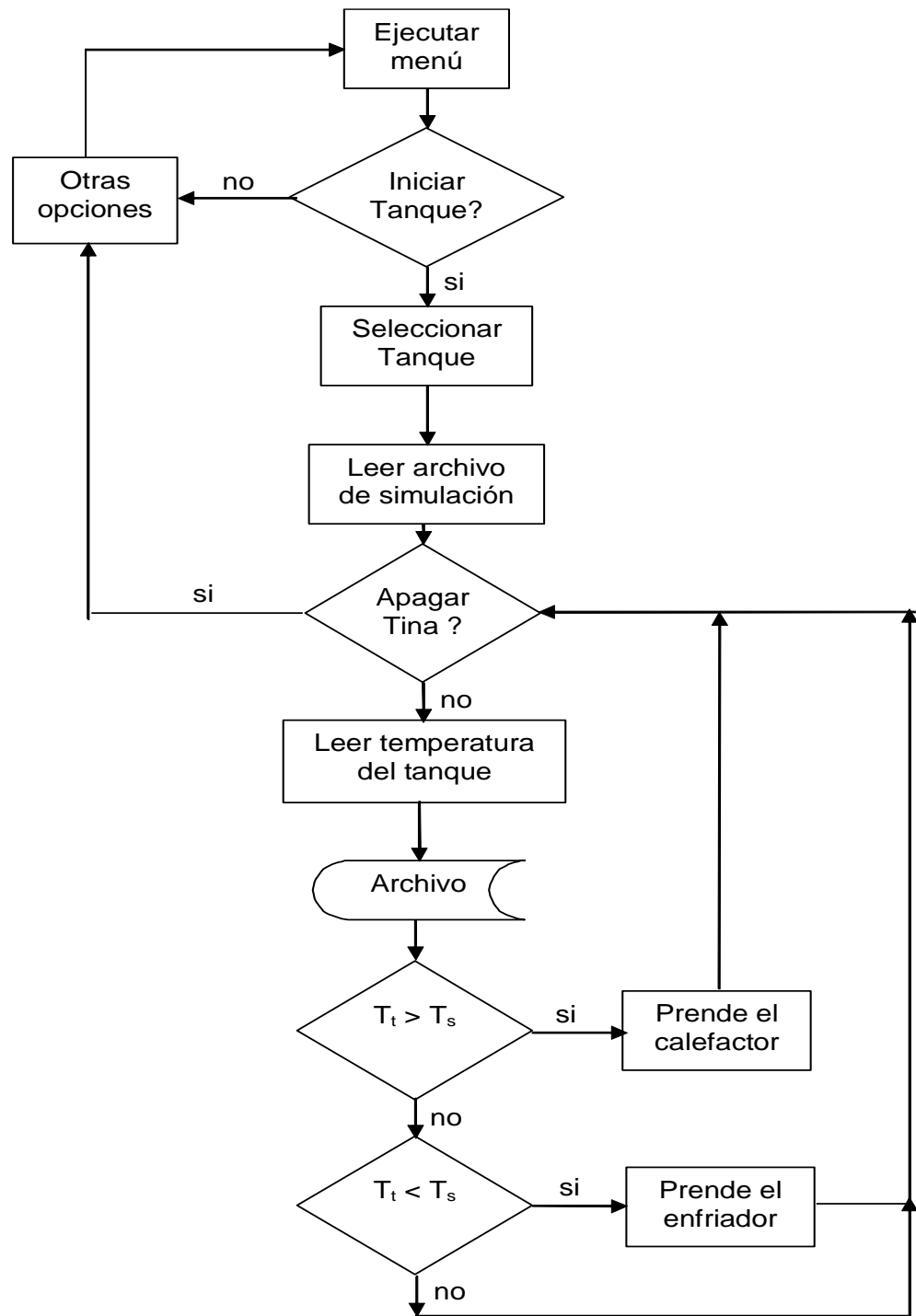


Figura 10. Diagrama de flujo del programa de cómputo SITMA.



Figura 11. Pantalla del Simulador Térmico Marino donde se muestra el intervalo de temperaturas que maneja el equipo (10-40°C), una curva de simulación agregada por el usuario y el menú principal del programa de cómputo.

Evaluación del SITMA

La eficiencia de control del SITMA, fue evaluada manteniendo el sistema en un laboratorio a temperatura casi constante. Esto se hizo para simular en lo posible la situación que se presentaría en un laboratorio de investigación. Se llevaron a cabo dos experimentos. En el primero, se pretendió determinar la capacidad de respuesta del simulador ante un incremento o decremento repentino en el rango máximo completo del simulador ($\Delta 24\text{ }^{\circ}\text{C}$), a diferentes flujos de agua. En el segundo, se investigó la capacidad de control fino del el flujo máximo en donde el SITMA fuese capaz de controlar la temperatura, bajo una simulación de oscilación térmica de una frecuencia de 1 ciclo/día (un valle y una cresta cada 24 h) en el rango completo del simulador ($\Delta 24$

°C). Ambas pruebas fueron realizadas a diferentes flujos para demostrar que el equipo puede funcionar tanto como un sistema cerrado, como abierto.

MÉTODOS

Tiempo de respuesta del SITMA en relación al flujo

Para estimar el tiempo de respuesta del SITMA, el equipo fue programado para lograr un incremento o decremento de 24°C. Estos cambios fueron programados en el SITMA a partir de 10 y 34°C respectivamente, permaneciendo un tiempo máximo de 6 horas. Esta simulación se probó por triplicado (una repetición por día) en tres tanques de 70L, los cuales recibieron un flujo de 0, 203 ± 4.1 y 586 ± 5.3 mL/min respectivamente. Se registró la temperatura de los tanques, del aire del laboratorio y del agua a la entrada de los tanques por medio de termógrafos digitales marca ONSET (modelo WTA32-5+37). Se consideró como tiempo de respuesta, el lapso transcurrido entre el cambio térmico y el momento en que la temperatura del tanque fue igual que la temperatura simulada.

Capacidad de Control Fino del SITMA en Relación al Flujo

La capacidad de regulación fina de control térmico en relación al flujo se midió aplicando un modelo de oscilación térmica ($22 \pm 12^\circ\text{C}$) de forma sinusoidal de una frecuencia de 1 ciclo/día en el rango completo del simulador (10-34 °C). Este experimento se hizo por triplicado (una repetición por día), y se emplearon cinco

tanques de 70 L de capacidad, los cuales recibieron un flujo constante de $0, 100 \pm 2, 197 \pm 1.7, 298 \pm 1.5$ y 398 ± 2.9 mL/min. Se registró la temperatura de los tanques, del aire del laboratorio y del agua a la entrada de los tanques por medio de termógrafos digitales similares a los empleados en el experimento anterior. Se consideró *a priori* como flujo máximo de operación, aquel tratamiento donde la diferencia entre el valor real y el valor de simulación fuese menor a $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

RESULTADOS

Tiempo de Respuesta del SITMA en relación al flujo

En la Figura 12 se presenta la temperatura del agua a la entrada de los tanques y la temperatura del aire, durante los tres días de experimentación. Aquí se puede apreciar que la temperatura del agua fue de $16.05 \pm 3.49\text{ }^{\circ}\text{C}$ con un ΔT de $12.92\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la del aire se mantuvo a $22.02 \pm 1.43\text{ }^{\circ}\text{C}$ con un ΔT de $6.79\text{ }^{\circ}\text{C}$.

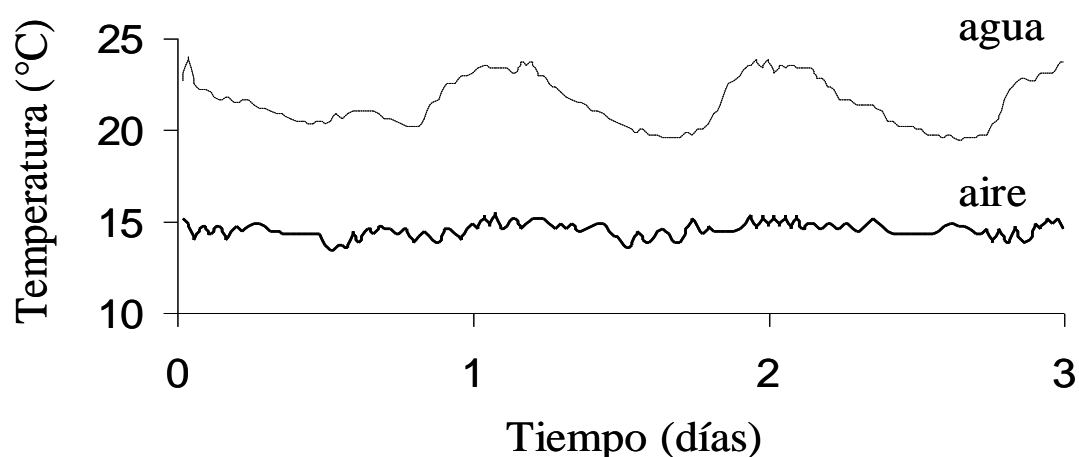


Figura 12. Registro de las temperaturas del aire y de la entrada de agua hacia los tanques donde se instaló el Simulador Térmico Marino para evaluar el tiempo de respuesta de este equipo al aplicar un modelo de grecas 10-34-10 $^{\circ}\text{C}$.

TABLA III

Tiempos de respuesta del simulador térmico marino SITMA, durante una simulación de incremento y decremento repentinos en el rango completo del simulador ($\Delta 24^\circ\text{C}$), a diferentes flujos de agua. Los experimentos se realizaron en tanques de 70L de capacidad.

Cambio térmico ($^\circ\text{C}$)	Flujo (mL/min)	Temperatura final ($^\circ\text{C}$)	Tiempo de respuesta (h)
de 10 a 34	0 ± 0	34.03	3.67 ± 0.14
	203 ± 4.1	34.06	3.76 ± 0.18
	586 ± 5.3	33.43	-
de 34 a 10	0 ± 0	10.0	4.43 ± 14
	203 ± 4.1	10.0	$5.52 \pm .24$
	586 ± 5.3	12.46	-

Los valores son la media \pm DE. $n = 3$

En la Figura 13, se muestran las diferencias entre la temperatura programada contra la temperatura real ante un incremento o decremento repentino en el rango máximo del simulador ($\Delta 24^\circ\text{C}$). Se aprecia que el SITMA fue capaz de producir un ΔT de 24°C en un tiempo máximo de 3.67 y 4.26 h (Tabla III) en los tratamientos de ascenso y descenso de temperatura respectivamente, a un flujo entre 0 mL/min. El ΔT de 24°C se logró a las 3.76 y 5.52 h en el ascenso y descenso al flujo de 203 mL/min. No hubo diferencias significativas entre tiempos de respuesta a esos flujos en un mismo tratamiento. Sin embargo, el SITMA no logró producir la temperatura simulada en el flujo mas alto (586 ± 5.3) en ninguno de los dos tratamientos.

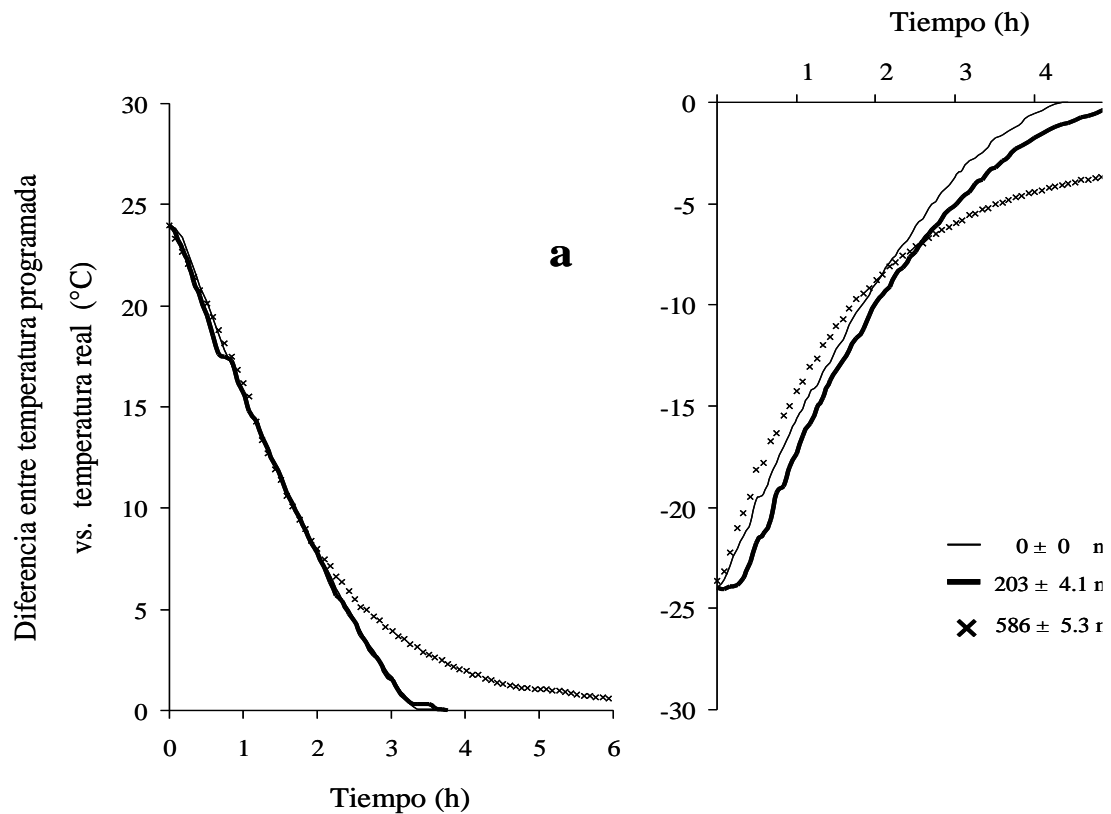


Figura 13. Diferencias entre la temperatura programada en el Simulador Térmico Marino y la temperatura real ante un incremento o decremento repentino en el rango máximo del simulador ($\Delta 24^\circ\text{C}$).

Capacidad de Control Fino del SITMA en Relación al Flujo

En la Figura 14 se presenta la temperatura del agua a la entrada de los tanques y la temperatura del aire, durante los tres días de experimentación. Aquí se puede apreciar que la temperatura del agua fue de $18.96 \pm 2.59^\circ\text{C}$ con un ΔT de 11.04°C y la del aire se mantuvo a $13.97 \pm 1.27^\circ\text{C}$ con un ΔT de 10.86°C .

En la Figura 15 se muestran las anomalías térmicas en los tanques experimentales respecto a la temperatura de simulación a diferentes flujos, y el modelo de simulación aplicado. Los resultados indican mayores anomalías a flujos elevados. Las anomalías

térmicas (Tabla IV) fueron menores a 0.5 °C a un flujo de 100 mL/min el cual es considerado como el flujo máximo de operación del SITMA. Posterior a este flujo se presentaron diferencias absolutas mayores a 1°C, sobre todo en el tramo de descenso de 34 a 10 °C (Tabla IV).

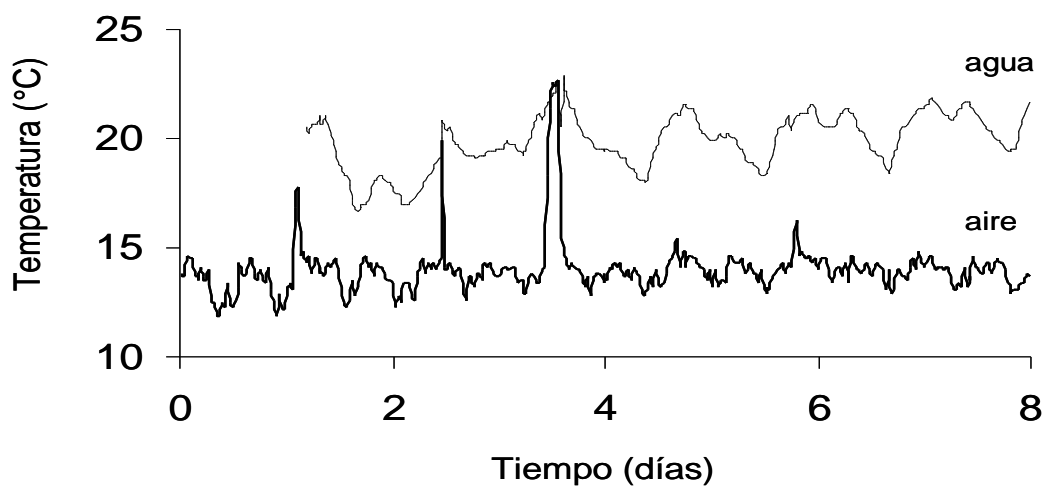


Figura 14. Registro de las temperaturas del aire y de la entrada de agua hacia los tanques donde se instaló el Simulador Térmico Marino para evaluar la capacidad de control térmico que tiene este equipo al aplicar un modelo sinusoidal de dos ciclos por día ($22 \pm 12^{\circ}\text{C}$) en relación al flujo.

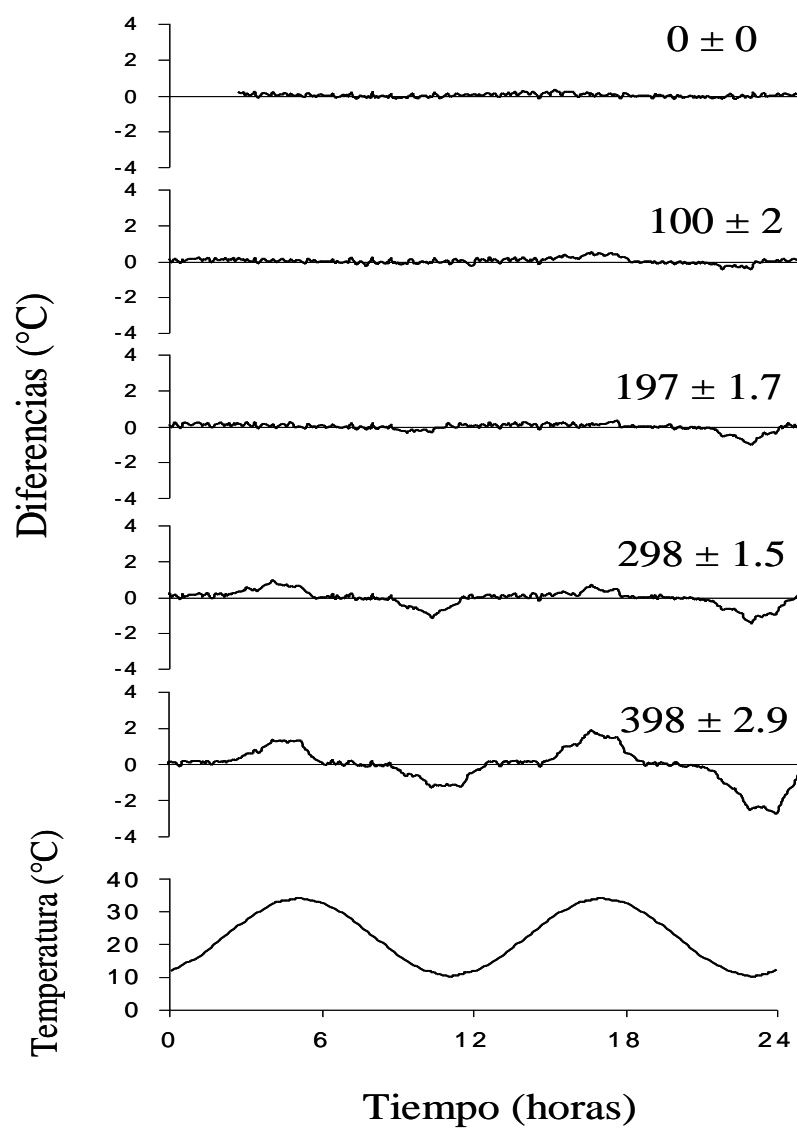


Figura 15. Diferencias encontradas entre el modelo teórico aplicado al programa del Simulador Térmico Marino y las temperaturas registradas a diferentes flujos. El gráfico inferior representa el modelo teórico.

TABLA IV

Anomalías térmicas promedio máximas y mínimas registradas en el simulador térmico marino SITMA, aplicando un modelo sinusoidal de 1 ciclo/día en el rango completo del simulador (10-34 °C; Δ 24 °C).

Flujo (mL/min)	Anomalías térmicas (°C)		
	Promedio	Máxima	Mínima
0 \pm 0	-0.007	0.30	-0.23
100 \pm 2.0	0.003	0.50	-0.47
197 \pm 1.7	-0.066	0.30	-1.10
298 \pm 1.5	-0.082	0.97	-1.533
398 \pm 2.9	0.631	1.87	-2.77

DISCUSIÓN

Se demostró que el SITMA es un equipo de fácil instalación y operación. Su capacidad máxima de control es de un $\Delta T = 24^{\circ}\text{C}$ en el intervalo de 10 a 34 °C, con un tiempo de respuesta máximo de 5.4 h, a un flujo máximo de 100 mL/min. Es un equipo versátil ya que se evidenció su capacidad para mantener la temperatura constante. Al respecto, la tendencia más generalizada en el desarrollo de sistemas de control térmico, ha sido al mantenimiento de la temperatura bajo condiciones estables. Lo anterior surge del enfoque de estudiar a los organismos de manera aislada manteniendo constantes los factores de mayor interés (autoecología). Particularmente, en acuicultura se ha buscado aplicar este tipo de sistemas, pensando que al mantener a los organismos independientes de las variaciones del medio, se obtiene un mejor crecimiento tal y como describen Sorgelos y Persoone, (1972); Winget *et al.*, (1973); Buchanan *et al.*, (1975) y Sastry, (1975). Otra tendencia, ha sido el desarrollo de sistemas abiertos que implican el flujo continuo, evitando problemas como la acumulación de amonio y otros metabolitos. El

SITMA es un equipo versátil que puede trabajar bajo sistema cerrado o abierto. En cambios térmicos drásticos (10-34-10°C) este equipo pudo operar con un flujo máximo de 203 ± 4.1 mL/min (292 ± 5.9 L/día) logrando compensar las temperaturas en tiempos no mayores a los 5.43 ± 0.243 min. Se han desarrollado otros sistemas que pueden operar en sistema abierto (Ebert *et al.*, 1974; Hettler, 1974; Nowak, 1974; Sivertsen *et al.*, 1983; Harrell *et al.*, 1989; Herman, 1995; Hall *et al.*, 2002). Existen además sistemas más complejos como los creados por Harrell *et al.* (1989) y Herman (1995), que han logrado combinar y mantener estables varios factores que determinan el éxito de un cultivo como temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH. La operación de estos sistemas se basa en la mezcla de agua almacenada a diferentes condiciones, mediante el uso de electro válvulas que son activadas por sensores. A pesar del gran avance en estos sistemas, las observaciones realizadas en el medio natural han demostrado que los organismos no permanecen en condiciones estables, por lo que las respuestas de los mismos ante estos factores pueden estar sesgadas. Por esta razón, las tendencias más novedosas en el desarrollo de sistemas tienden a replicar las condiciones naturales para lograr observaciones más cercanas a la realidad. Lampert y Loose (1972), por ejemplo, describieron un acuario a manera de torres, donde lograron una estratificación de condiciones físico-químicas a lo largo de la columna simulando las condiciones del medio natural para el estudio de plancton. Existen otros trabajos en los que describen sistemas que pueden generar gradientes térmicos (Thomas *et al.*, 1963; Rosas *et al.*, 1986; Reynolds, 1997; Rocha y Blanco, 1998; Chen y Chen, 1991; Espina *et al.*, 1993; Bückle *et al.*, 1994, 1996; Hetch, 1994; Hernández *et al.*, 1995, Hernández y Bückle, 1997; Bückle *et al.*, 2003), salinos (Doudoroff, 1938; Hodgson, 1951; Jones, 1947; Jansson, 1962; Hansen, 1972; Bückle *et al.*, 2003) y/o de concentración de oxígeno disuelto (Bückle *et al.*, 2003). Estos sistemas han resultado útiles para conocer las

preferencias de los organismos en relación a estos factores y observar efectos en algunas variables fisiológicas. Respecto a la temperatura, los resultados de las pruebas de control térmico realizadas con el SITMA, mostraron que tiene la capacidad de replicar un modelo de oscilación teórica de dos ciclos por día en el máximo rango de temperaturas ($22 \pm 12^{\circ}\text{C}$) tanto en sistemas cerrados como abiertos con un flujo hasta de $100 \pm 2 \text{ mL/min}$ ($144 \pm 2.9 \text{ L/día}$), manteniendo diferencias no mayores a los 0.5°C en relación a la oscilación teórica. Una ventaja que hay que resaltar es el hecho de que el equipo se puede programar, es totalmente automatizado y de muy fácil operación. Otro sistema similar fue el descrito por Kaiser (1990), el cual incorporó tecnología de retroalimentación logrando crear un sistema automatizado que mantiene el control, de diversas variables como pH, amonio y temperatura. Sin embargo este sistema mantiene las variables estables y opera con recirculación de agua. En cuanto a la instalación y manejo del SITMA, es importante resaltar el hecho de que en cualquier laboratorio donde existan las condiciones de amperaje para su conexión (220VAC y 60 Amperes) y agua, es posible instalar el equipo en un mínimo de tiempo. El SITMA fue diseñado para observar cambios fisiológicos en moluscos pectínidos sometidos a oscilaciones térmicas registradas en los sitios potenciales de cultivo. Por lo anterior, debido a las características del equipo, puede utilizarse para cualquier estudio fisiológico donde se desee lograr algún tipo de control térmico, por ejemplo: en estudios reproductivos, para evaluar procesos de maduración gonádica, variaciones endócrinas, calidad de gametos, etc; en estudios de desarrollo, asentamiento larvario, crecimiento, supervivencia, etc; estudios nutricionales, entre otros. Los materiales son inoxidables por lo que permiten hacer el control directamente en el tanque experimental y/ o como baño maría.

CONCLUSIONES

- El Simulador Térmico Marino demostró ser un equipo versátil, de fácil instalación y operación.
- Este equipo es capaz de controlar la temperatura en un amplio intervalo térmico (10-34°C) y puede compensar cambios drásticos de hasta 24°C.
- El SITMA mantiene la temperatura constante o bien replica cualquier modelo de oscilación tomada del medio natural. Bajo el modelo aplicado el equipo pudo replicar una oscilación de dos ciclos diarios ($22 \pm 12^{\circ}\text{C}$) con diferencias no mayores de 0.5°C.
- La operación del SITMA puede lograrse tanto en sistemas abiertos, como cerrados. En cambios drásticos el equipo puede trabajar manteniendo un flujo de $203 \pm 4.1 \text{ mL/min}$ ($292 \pm 5.9 \text{ L/día}$) con un tiempo de respuesta no mayor a los $5.43 \pm 0.243 \text{ min.}$. Bajo la oscilación térmica probada el equipo pudo operar un flujo de hasta de $100 \pm 2 \text{ mL/min}$ ($144 \pm 2.9 \text{ L/día}$).
- El SITMA es un equipo que puede utilizarse en el laboratorio para cualquier tipo de experimentación con organismos acuáticos en donde sea necesario tener control térmico.

CAPITULO 3

EFFECTO DE LA TEMPERATURA OSCILANTE SOBRE EL POTENCIAL DE CRECIMIENTO DE LA ALMEJA MANO DE LEÓN (*Nodipecten subnodosus*)

ANTECEDENTES

El crecimiento refleja el aumento del tamaño corporal y/o el desarrollo de tejidos especializados que muestra un organismo a lo largo de su vida (Carillo *et al.*, 2000). Representa la respuesta integrada de los procesos fisiológicos de adquisición y pérdida de energía donde el organismo cuenta con energía libre para realizar funciones distintas a su mantenimiento corporal (Bricelj y Shumway, 1991). Incluye numerosos procesos (*metabolismo*) que tienen un alto grado de organización. Durante el crecimiento la incorporación de moléculas estructurales (*anabolismo*) se da a una velocidad más rápida que la de degradación (*catabolismo*). Generalmente, el crecimiento incluye la división real y multiplicación de las células con el fin de aumentar su número total, el aumento en el tamaño de las células individuales o ambos y por lo tanto el incremento de la biomasa del organismo. La forma en que ocurre y el término del crecimiento, es diferente para los distintos grupos taxonómicos. El caso de los moluscos bivalvos se observa un pronunciado crecimiento de la concha durante el primer año de vida más que en siguientes años, donde el crecimiento es lento o inclusive se detiene (Mottet, 1979). Este evento, está influenciado por diferentes variables ambientales, principalmente la temperatura, disponibilidad de alimento y salinidad, (Bayne y Newell, 1983) y por procesos biológicos endógenos, tales como la edad, factores genéticos y particularmente la actividad reproductiva debido al alto gasto energético que implica (Bricelj y Shumway, 1991).

La evaluación del crecimiento se lleva a cabo comúnmente haciendo un seguimiento morfométrico o de la ganancia en masa de los organismos, lo que permite evaluar de manera directa las condiciones de un cultivo. Sin embargo, este método requiere de grandes periodos de estudio, lo que representa una desventaja. Existen formas de estimar el crecimiento de manera más rápida. El potencial de crecimiento ("scope for growth") representa la energía libre que potencialmente podría estar destinada al crecimiento, reproducción y otros parámetros biológicos.. Ivellev (1939) y Winberg (1956), realizaron los primeros estudios de crecimiento potencial en peces y desarrollaron un modelo en el que las tasas fisiológicas se expresan en unidades de energía/tiempo. Dicho modelo, conocido como la ecuación de balance energético, considera a los organismos como sistemas termodinámicamente abiertos, intercambiando energía con su entorno de tres formas: calor, trabajo y energía potencial almacenada en compuestos bioquímicos. Este modelo considera las tasas de ingestión (TI), respiración (TR), producción de heces (TH) y excreción nitrogenada (TU), que son convertidas a unidades energéticas. Una vez estimados los diferentes destinos de la energía se puede calcular el crecimiento potencial (PC) por diferencia:

$$\mathbf{PC = TI - (TR + TH + TU)}$$

Posteriormente se han hecho algunas variaciones a la fórmula original como:

$$\mathbf{PC = A - (TR + TU)}$$

Donde "A" representa la fracción de energía absorbida del material ingerido por el organismo (Winberg, 1960), esto es:

$$\mathbf{TA = TI - TH}$$

Siendo TI la materia ingerida y TH la materia fecal. La tasa de absorción (TA) depende de la eficiencia de absorción (EA) del alimento ingerido y puede estimarse mediante la siguiente ecuación:

$$TA = EA * TI$$

El crecimiento potencial resulta positivo cuando existe energía disponible para crecimiento y producción de gametos, o negativo cuando la energía utilizada en respiración y excreción es mayor que la energía absorbida por el organismo, utilizando en este caso sus reservas corporales para llevar a cabo los procesos vitales. La importancia de este índice se basa en que, al igual que el crecimiento, integra los procesos fisiológicos básicos de un organismo y los relaciona con la adquisición y utilización de la energía. De esta forma, el balance energético de un organismo depende de los factores que modifican los componentes implicados en la ecuación descrita y por lo tanto la distribución de la energía.

Para estudiar el balance energético de un organismo es necesario estimar, bajo las condiciones deseadas, las tasas fisiológicas implicadas en la ecuación. En moluscos bivalvos, la tasa de ingestión se define como el número de partículas retenidas de cierto volumen de agua por unidad de tiempo. La estimación de ésta puede realizarse por métodos directos, separando el sifón inhalante y exhalante y midiendo el flujo a través de ellos, o bien de manera indirecta midiendo la tasa de remoción de partículas (Bayne, 1976). La tasa respiratoria es una medida indirecta de la tasa metabólica de los organismos, que indica el total de transformaciones energéticas que se llevan a cabo. Frecuentemente, es utilizada como un indicador del estado de actividad del organismo (Davis, 1966). La determinación de la tasa respiratoria se realiza cuantificando el

consumo de oxígeno del organismo en relación al tiempo, ya sea por métodos químicos o por medio de electrodos. Por otra parte, la tasa de excreción es la energía perdida de desechos nitrogenados. El catabolismo de proteínas lleva a la formación de amonio, compuesto que representa entre el 60 al 90% del total del material excretado (Navarro, 2001). La determinación de este compuesto normalmente se realiza por métodos químicos (Solórzano, 1969). La energía desechada en las heces, representa la parte del alimento que no fue absorbida por el organismo. Los métodos para determinar esta pérdida son, colectando todas las heces y estimando por calorimetría el contenido energético, o bien, de forma indirecta cuantificando el contenido de carbono por diferencia del peso seco menos las cenizas (Conover, 1966). Numerosas investigaciones en bivalvos mencionan que los factores internos que afectan mayormente a las tasas fisiológicas descritas son la edad, talla, estado reproductivo, condición fisiológica e información genética, y los externos de mayor relevancia son la temperatura, concentración y calidad de alimento, tensión de oxígeno y salinidad (Bayne, 1976; Shumway, 1991).

Los primeros estudios de balance energético se desarrollaron en peces con la introducción de la ecuación propuesta por Ivelev (1939) y Winberg (1956), y fue acuñada posteriormente por Warren y Davis (1967) para expresar la energía disponible para crecimiento y reproducción.

Los conceptos y métodos del balance energético se aplicaron a partir de la época de los 70's en diferentes moluscos bivalvos. *Mytilus edulis* es la especie más estudiada, aunque ya existe una extensa lista de trabajos en otras especies como *Cerastoderma edule*, *Macoma balthica*, *Mya arenaria*, *Venus verrucosa* y diferentes especies del

género *Ruditapes* (= *Tapes*) (Ver referencias en Apéndice B). En pectínidos se han estudiado *Placopecten magellanicus*, *Chlamys farreri*, *C. islandica*, *Argopecten purpuratus*, *Chlamys varia*, *Patinopecten yessoensis*, *Euvola ziczac*, *Nodipecten subnodosus* y *Pecten maximus* (Apéndice B).

El balance energético de un organismo se ve afectado cuando un factor externo o interno modifica alguno de los componentes de la ecuación y por lo tanto la distribución de la energía. En pectínidos existen muchos trabajos que de manera individual han estudiado las respuestas de las diferentes tasas fisiológicas ante diferentes factores (Apéndice C). Sin embargo, son pocos los trabajos donde se estudian las tasas fisiológicas para integrar el balance energético y de esa forma entender el destino de la energía cuando los organismos son afectados por algún factor. Estos estudios se han enfocado en la evaluación el efecto de las diferentes dietas y/o regímenes de alimentación sobre el campo de crecimiento en especies de interés comercial (*Argopecten purpuratus*, *Chlamys farreri*, *Crassostrea gigas*, *Euvola ziczac*, *Mya arenaria*, *Mytilus edulis*, *Patinopecten yessoensis*, *Pinctada margaritifera*, *Placopecten magellanicus*), su fisiología reproductiva (*Argopecten irradians irradians*, *Argopecten purpuratus*, *Cerastoderma edule*, *Mytilus edulis*, *Tapes decussatus*), el efecto a cambios en salinidad (*Argopecten purpuratus*), los efectos de las variaciones de mareas y oleaje (*Cerastoderma edule*, *Mercenaria mercenaria*), diferentes parámetros poblacionales (*Chlamys islandica*, *Chlamys varia*, *Macoma balthica*, *Scrobicularia plana*), los efectos de estrés y la contaminación (*Mytilus edulis*, *Placopecten magellanicus*, *Ruditapes decussatus*, *Tapes philippinarum*, *Venus verrucosa*), el costo energético del nado y respuestas de escape (*C. islandica*, *Euvola ziczac* y *P. magellanicus*) (Apéndice B).

A pesar de la influencia de la temperatura sobre los diversos procesos fisiológicos, los estudios que relacionan este factor con la fisiología energética en pectínidos son escasos y la mayoría se han realizado a temperaturas constantes. En *A. purpuratus* se evaluó el efecto de las dietas en relación a la temperatura (Díaz y Martínez, 1992; Farías *et al.*, 1997; Navarro *et al.*, 2000). En *C. farreri* se evaluó el efecto de variaciones de temperatura y seston (Zhou *et al.*, 2002a; Zhou *et al.*, 2002b) y en *C. varia* se estudiaron los cambios de campo de crecimiento en relación a las variaciones estacionales (Shafee y Lucas, 1982). En *Nodipecten subnodosus* se realizó un estudio de campo de crecimiento a diferentes temperaturas para establecer la temperatura óptima (González-Estrada, 2003) y en *P. magellanicus* se estudió el efecto de la temperatura y disponibilidad de alimento (MacDonald y Thompson, 1986) y el efecto de la temperatura con la frecuencia del nado (Kleiman *et al.*, 1996).

La información sobre los efectos fisiológicos que producen las oscilaciones térmicas en los organismos es aún muy limitada. Esto probablemente se debe a la dificultad de producir las condiciones oscilantes de temperatura en el laboratorio, creando condiciones de estrés que a su vez generen respuestas difíciles de extrapolar a las condiciones del campo (Pilditch y Grant, 1999). Diana (1984), midió el crecimiento del pez *Micropterus salmonides* bajo condiciones constantes y oscilantes, y encontró que los organismos mantenidos a temperaturas oscilantes fueron más eficientes en el uso de su energía metabólica. Sánchez *et al.* (1984), observaron la influencia de diferentes regímenes de temperatura sobre la asimilación, la conversión alimenticia y la eficiencia de crecimiento de la tilapia roja *Sarotherodon mossambicus*. Estos autores aportaron evidencias de que bajo un régimen fluctuante, los peces tienen una asimilación mayor que en condiciones estables. En bivalvos, Widdows (1976) estudió las respuestas de la

tasa respiratoria y de filtración en las crestas, nodos y valles de las temperaturas fluctuantes en *Mytilus edulis*. Observó una relación directa entre la tasa respiratoria y la temperatura, y un proceso de aclimatación parcial a partir del día 14 de exposición. También, encontró una relación directa entre la tasa de ingestión y la temperatura, y demostró que se presenta una respuesta de aclimatación total después de 10 a 14 días de exposición. En el pectínido *Placopecten magellanicus*, Dickie (1958) encontró un efecto negativo de la temperatura fluctuante ($\pm 5^{\circ}\text{C}$), ya que produjo el cierre de las valvas por periodos de hasta 40h y la secreción de grandes cantidades de moco. Además, la exposición crónica a fluctuaciones entre 20 y 24°C fue letal. Pilditch y Grant (1999) también sometieron a *Placopecten magellanicus* a temperaturas constantes y fluctuantes. Los resultados mostraron que la tasa respiratoria varió directamente de forma proporcional al ciclo de temperatura y que hubo una mayor eficiencia metabólica de los organismos sometidos a temperaturas oscilantes. Además, el crecimiento de tejidos (sin considerar el músculo abductor) fue 40-50% superior que en los bivalvos mantenidos a temperaturas constantes. López-Sánchez (2003) midió la tasa de filtración en *Nodipecten subnodosus* cada 3 horas, sometida a dos tratamientos de temperatura oscilante de frecuencias distintas. Este autor registró una relación entre la temperatura y la tasa de filtración de manera desfasada durante las primeras 36 horas, pero posteriormente los organismos regularon por completo la tasa de filtración, ocurriendo más rápidamente en los bivalvos del tratamiento de mayor frecuencia.

González-Estrada (2003) estudió el efecto de la temperatura estable, sobre el marco de crecimiento de *N. subnodosus*, para determinar la temperatura óptima de crecimiento entre 15 y 30° C. También intentó establecer los límites de temperatura letales superior e inferior a 96 h de exposición. Encontró que el marco de crecimiento fue positivo en todas las temperaturas a excepción de 30°C y obtuvo un valor máximo a los 22°C. Este

valor coincidió con el máximo valor de la tasa de ingestión y el crecimiento en peso seco de tejido, indicando una correlación positiva entre estos indicadores fisiológicos y el crecimiento. La temperatura letal superior fue de 32°C, pero no alcanzó el límite letal inferior a la mínima temperatura probada (3°C). Ese estudio definió el marco ambiental térmico de la especie. Sin embargo es necesario conocer las respuestas fisiológicas a condiciones de temperatura variable, tal y como ocurre en la naturaleza (Capítulo 1).

OBJETIVO

Estudiar el efecto de la temperatura oscilante sobre la energía potencial de crecimiento, el crecimiento neto y la supervivencia de la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*).

MÉTODOS

Organismos Experimentales

Un total de 2,546 ejemplares juveniles de la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*) de 6-7 cm de altura de la concha fueron donados en septiembre del 2002 por la empresa Acuagrón S. de R. L., en la Laguna de Guerrero Negro (27.93-28.12° latitud N; 114.04-114.15° longitud W), Baja California Sur, México (Figura 16), localizada a 788 Km de la ciudad de La Paz. Los organismos se encontraban en la fase de pre-engorda en canastas Nestier, sujetas a un “long line”, a 23°C y la salinidad de 37 ups. Doce horas antes del transporte, las almejas fueron seleccionadas por tallas

homogéneas, fueron cepilladas para eliminar los incrustantes y se resuspendieron nuevamente en las canastas a una densidad de 100 ind/canasta. El transporte se realizó en un vehículo pick-up siguiendo la metodología descrita por Maeda-Martínez *et al.*, (2000) durante 11 horas, teniendo como destino la Unidad Pichilingue de la Universidad Autónoma de Baja California Sur en La Paz. Este es un método de transporte en seco cuyo principio radica en evitar la desecación de los organismos manteniendo las valvas cerradas en un ambiente húmedo, y en la disminución del estrés por hipoxia o anoxia, enriqueciendo la atmósfera de la cámara de transporte con oxígeno puro. Los organismos se empacaron en un sándwich formado con tapas de triplay y capas de hule espuma de 110 cm de largo x 100 cm de ancho x 2.5 cm de espesor, a razón de 290 almejas por capa. La tapa superior fue perforada para permitir la entrada de agua de mar que periódicamente se vaciaba para mantener humedecidas las capas de hule espuma. El sándwich fue colocado dentro de una bolsa de plástico, la cual a su vez se introdujo a una hielera de 1 m³ de capacidad. Posteriormente, se introdujo una manguera de plástico de 0.6 cm de diámetro conectada a un tanque de oxígeno y un electrodo de oxígeno y se selló herméticamente para evitar la fuga de gas. Después la bolsa se infló con oxígeno y se selló la hielera con su tapa. La hielera se mantuvo a 19°C introduciendo bolsas de hielo cuando fuese necesario según lo indicaba un termómetro digital. La concentración de oxígeno se mantuvo entre 50 y 60 ppm, abriendo la válvula del oxígeno si fuese necesario.

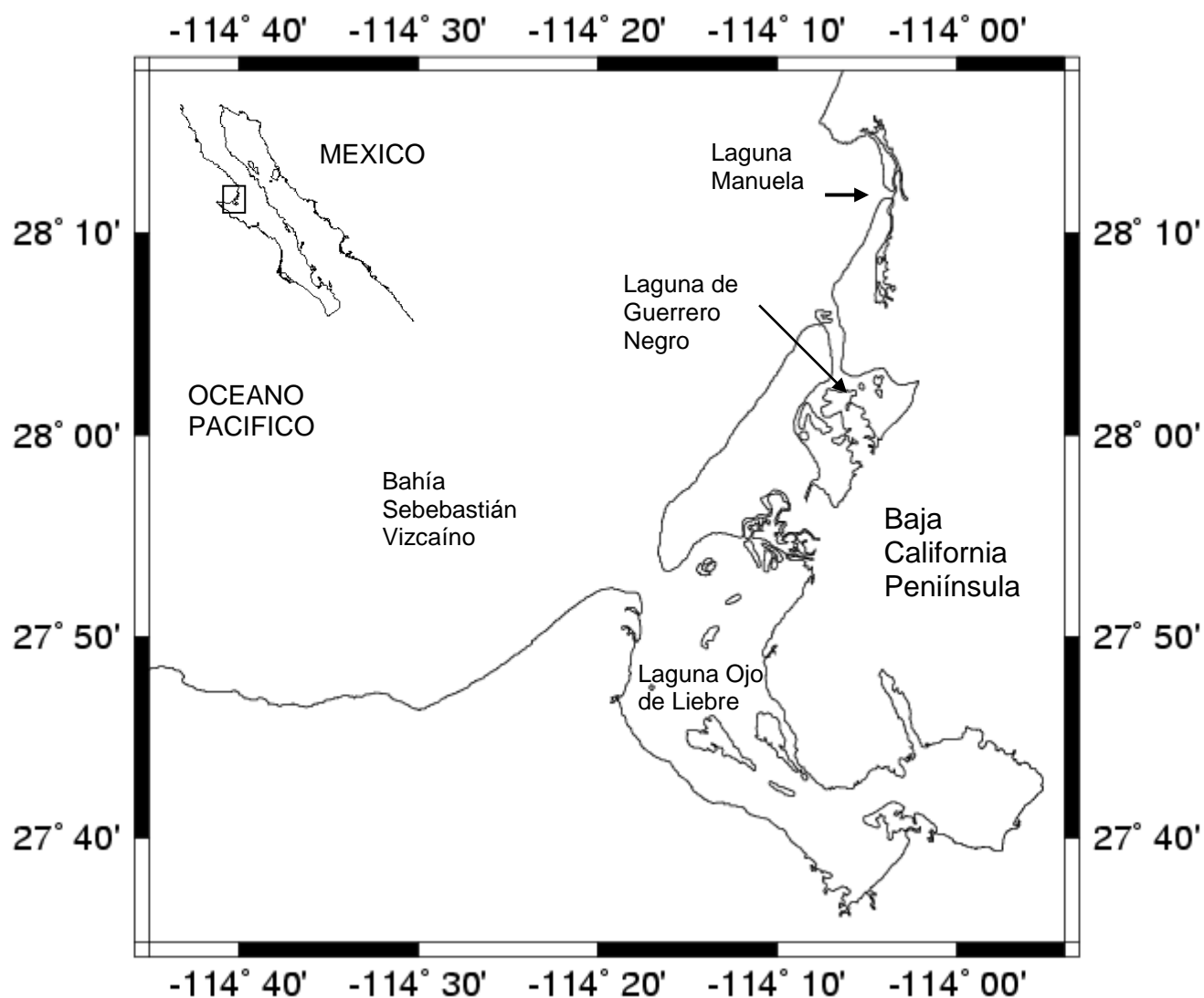


Figura 16. Localización del sitio de colecta de los juveniles de almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*) en la laguna de Guerrero Negro, Baja California Sur, México.

Diseño Experimental

Una vez en el laboratorio, los organismos fueron distribuidos a la misma densidad (211 individuos por tanque) en doce tanques rectangulares de fibra de vidrio de 147 L de capacidad. Seis tanques empleados para los tratamientos de temperatura estable se

colocaron en un laboratorio equipado con un sistema de aire acondicionado (lab 1), capaz de bajar la temperatura del agua a 21 °C. Para lograr las temperaturas deseadas, se colocaron en los tanques calentadores de inmersión de 250 watts Ebo-Jagger, calibrados contra un termómetro de alta precisión Ever Ready Thermometer Co. Los seis tanques restantes para los tratamientos de temperatura oscilante, fueron instalados en un segundo laboratorio (lab 2) sin control de temperatura ambiente pero donde se encontraba instalado el SITMA. Se registró la temperatura de los tanques cada media hora durante el experimento con termógrafos Onset Optic Stow Away Temp Modelo WTA32-5+37 (Onset Computer Corporation, Bourne, MA, USA) programados para registrar la temperatura cada 30 min.

Los tanques se colocaron en estantes, como se indica en la Figura 17. Cada uno de ellos recibió un flujo constante de 350 mL/h de agua de mar filtrada a 36.7 psu de salinidad, conteniendo una mezcla 1:1 de *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros gracilis* a una concentración de 90,000 células/mL. Para la alimentación de los organismos, se produjeron aproximadamente 300 L diarios de una mezcla 1:1 de *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros gracilis* dosificadas a razón de 6.79×10^9 céls/mL/h. Las microalgas se produjeron por el método discontinuo por lotes, en tanques de fibra de vidrio laminada 450 L en el Laboratorio de Producción de Microalgas de la UABCS unidad Pichilingue, cuya capacidad de producción de 1000 L/día a una concentración promedio de 1.25×10^6 cél/mL. El agua de mar para los cultivos fue previamente filtrada, clorinada y neutralizada con tiosulfato de sodio y posteriormente enriquecida con el medio f/2 (Guillard y Ryther, 1962).

La mezcla de agua de mar con las microalgas se hizo de manera automática en un tanque circular de 500 L de fibra de vidrio, el cual recibía agua de mar previamente sedimentada y filtrada por tres filtros de arena de diatomeas, manteniendo su nivel por

medio de un flotador mecánico. Las microalgas se bombeaban automáticamente a los tanques de mezcla mediante una bomba sumergible de 1/6 HP, controlada por un turbidímetro Hach Modelo 1720C. Estos aparatos se calibraron mediante una curva de calibración previamente construida que relacionaba la turbiedad contra la concentración de microalgas. El turbidímetro recibía un flujo continuo de agua de los tanques de mezcla (Figura 17), y fue programado para encender la bomba sumergible cuando la turbiedad fuese menor a la concentración microalgal deseada (90,000 cél/mL). La mezcla de agua de mar y microalgas se mantuvo homogénea, mediante una bomba sumergible operada de manera continua.

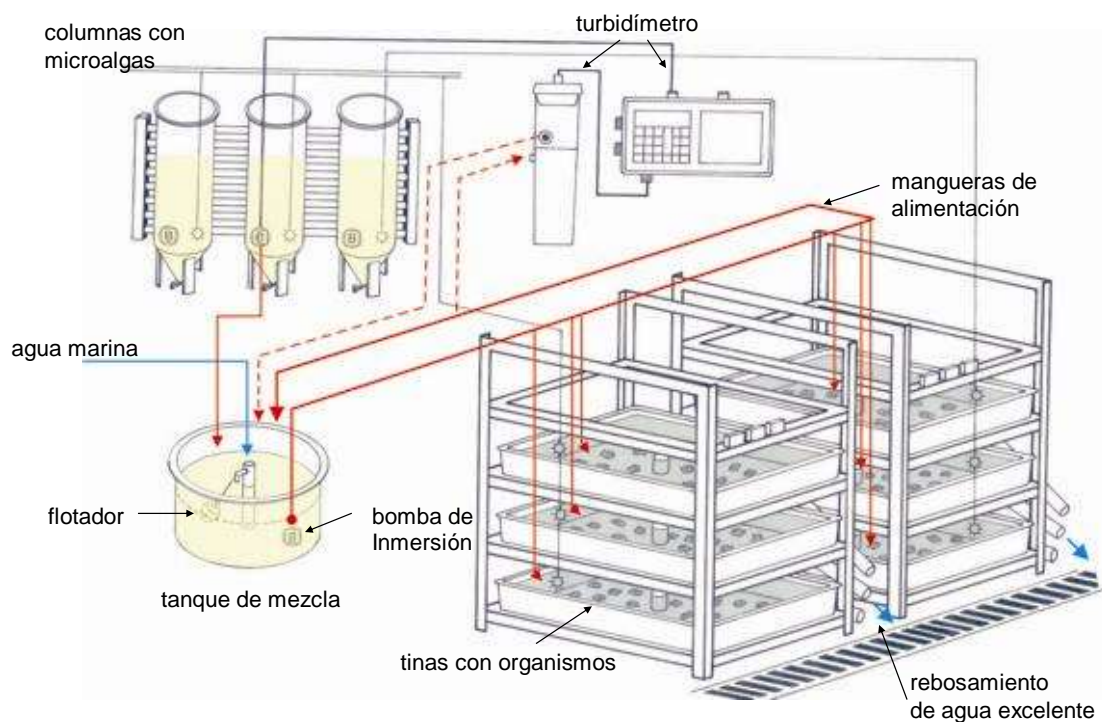


Figura 17. Sistema de flujo y alimentación continuos para el mantenimiento de los ejemplares de almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*).

Potencial de Crecimiento

Para el estudio de potencial de crecimiento (PC), las almejas fueron primeramente pre-aclimatadas y posteriormente aclimatadas a las temperaturas experimentales en el sistema antes descrito, durante 31 días antes de iniciar los experimentos (Tabla V). La etapa de pre-aclimatación duró 15 días y abarcó desde la llegada de los organismos al laboratorio, hasta el inicio de la aclimatación térmica. Esta etapa tuvo la finalidad de permitir la recuperación de los organismos del estrés producido durante el transporte (Ocaño-Higuera, 2003), y propiciar su adaptación a las condiciones del laboratorio. Durante esta etapa, la temperatura de los tanques se mantuvo a $23.1 (\pm 0.3) ^\circ\text{C}$. Las heces producidas por los organismos fueron diariamente extraídas por sifón y se eliminaron los organismos moribundos (parcialmente abiertos que no respondían con el cierre de las valvas a la manipulación) o muertos. Posteriormente, se inició la etapa de aclimatación la cual tuvo una duración de 16 días y comprendió desde el final de la pre-aclimatación hasta el inicio del periodo experimental. Al inicio de esta etapa, las almejas de todos los tanques se mezclaron aleatoriamente entre tanques de ambos laboratorios para evitar algún efecto de la posición del tanque sobre los organismos durante la preaclimatación, dejando 145 individuos en cada uno de ellos. La temperatura de los tanques se ajustó gradualmente disminuyendo o incrementando $1^\circ\text{C}/\text{día}$, hasta llegar a 21, 24 y $28 ^\circ\text{C}$ por cuadruplicado (dos tanques de cada laboratorio para cada temperatura). Durante este periodo, los organismos se mantuvieron de la misma forma que durante la preaclimatación.

Una vez aclimatados dió inicio la etapa experimental. Esta etapa tuvo una duración de 13 días e inició cuando la temperatura de los tanques del laboratorio 2, controlados por el SITMA, comenzó a oscilar $\pm 2^\circ\text{C}/\text{día}$ con respecto a la temperatura de aclimatación.

Los tanques del laboratorio 1 (grupos control) se mantuvieron a temperaturas constantes, de la misma forma que durante la etapa de aclimatación.

TABLA V

Distribución de los ejemplares de *Nodipecten subnodosus* en los tanques de los laboratorios 1 y 2, durante las tres etapas del experimento. Se indican la temperatura y el régimen térmico de exposición de cada tanque.

Etapa	Laboratorio	Tanque	Régimen térmico *	Temperatura
				°C
Preaclimatación	1 y 2	1- 6	E	23
Aclimatación	1	1 – 2	E	28
		3 – 4	E	24
		5 – 6	E	21
	2	1 – 2	E	28
		3 – 4	E	24
		5 – 6	E	21
Experimentación	1	1 – 2	E	28
		3 – 4	E	24
		5 – 6	E	21
		1 – 2	O	28 ± 2
		3 – 4	O	24 ± 2
		5 – 6	O	21 ± 2

* E= Estable y O= Oscilante

El potencial de crecimiento (PC) se evaluó a los 1, 8 y 13 días de iniciada la fase experimental. En el día 1, el PC se estimó en el valle inicial y en la cresta de la oscilación. En el día 8, se hicieron determinaciones cada tres horas durante 24 h y en el día 13, se midieron en el valle inicial, en el punto nodal inicial y en la cresta. Para ello, se midieron las tasas fisiológicas que componen la ecuación de balance energético propuesta por Ivelev (1945), Winberg (1956) y Warren y Davis (1967):

$$\mathbf{PC = TA - (TR + TE)}$$

donde:

PC = Potencial de Crecimiento

TA = Tasa de Absorción (energía absorbida)

TR = Tasa respiratoria (energía perdida por respiración)

TE = Tasa de Excreción (energía perdida por desechos nitrogenados)

Las tasas fisiológicas fueron estandarizadas al peso seco de tejido y posteriormente fueron convertidas a unidades energéticas (Joules/g/h) como se indica mas adelante.

Tasa de Absorción

La tasa de absorción (A) de los organismos se calculó mediante la fórmula:

$$\mathbf{TA = TI * EA}$$

Donde:

TI = Tasa de Ingestión (cél/g/h)

EA = Eficiencia de Absorción

La tasa de ingestión se midió cuantificando el consumo de alimento por unidad de tiempo en un sistema de cuatro cámaras de vidrio de 1.5L de flujo abierto controlado (Figura 18). Para las determinaciones de TI a cada tratamiento de temperatura estable y oscilante, el sistema de cuatro cámaras se colocó dentro de uno de los dos tanques experimentales de cada tratamiento, el cual sirvió como baño María. Ciento cuarenta litros de agua de mar filtrada (10 μ m) conteniendo $9.2 \pm 1.8 \times 10^4$ cél/mL de *Isochrysis galbana* fueron almacenados en un tanque de plástico con aireación continua. El agua fue bombeada hacia un tanque elevado y de ahí se alimentaron las cámaras por gravedad pasando primero por dos serpentines de acero inoxidable de 0.47 mm de diámetro y 2.5 m de longitud individual para igualar la temperatura del baño María. El agua proveniente de los serpentines se conectó con manguera de silicón de 0.52 mm de diámetro a un distribuidor de plástico con válvulas de 4 vías para alimentar a través de mangueras de silicón del mismo diámetro, a cada una de las cámaras. Las mangueras se insertaron a través de un orificio perforado en las tapas fabricadas con placa de polietileno rígido, procurando que la manguera penetrara hasta el fondo de las mismas. Las tapas se cerraban de forma hermética gracias a un empaque de hule que sentaba sobre la boca de la cámara y a un sistema de cerrado rápido hecho con alambre acerado con recubrimiento plástico. Para excluir las burbujas automáticamente, la cara interior de las tapas se maquinó de forma cónica para insertar en su vértice la manguera de salida a través de una perforación. Cada manguera de salida se conectó a una “T” de plástico en donde uno de los brazos sirvió para medir el flujo y como drenaje, y el otro se conectó a un distribuidor de plástico con válvulas de cinco vías (cuatro entradas para las cámaras y una salida) para los muestreos de oxígeno (Figura 18).

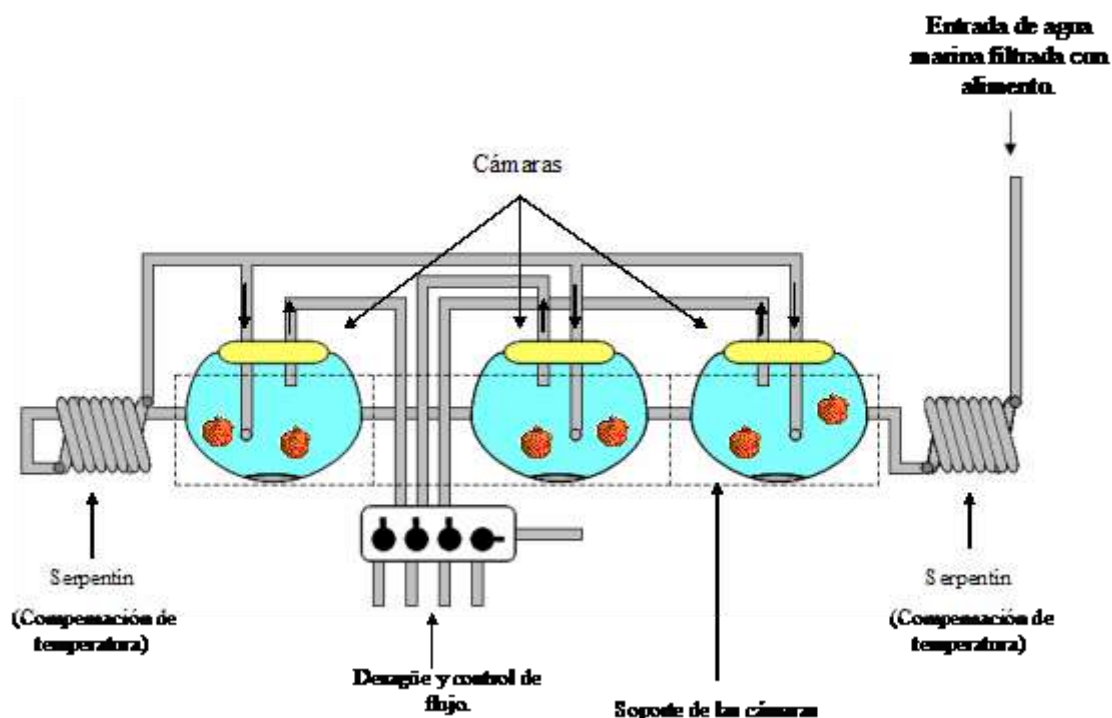


Figura 18. Sistema de flujo continuo para monitoreo de tasas fisiológicas utilizado con la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*).

Antes de iniciar el experimento, los organismos fueron alimentados y posteriormente fueron transferidos a agua de mar filtrada y aireada durante aproximadamente 24 h, tiempo en el cual cesó la producción de heces. Dos almejas fueron transferidas a cada cámara experimental y posteriormente se hizo pasar el agua de mar con alimento, ajustando el flujo de cada cámara a 50 – 60 mL/min (3 – 3.6 L/h) con las válvulas del distribuidor de 4 vías. La cuarta vía se usó para analizar el agua que entraba a las cámaras como control. El número de organismos por cámara se definió en un experimento previo, tomando como base que la concentración de oxígeno no fuese menor a la tensión crítica de oxígeno (80% de saturación de O₂) (Sicard, 1999), y de esa forma evitar que la tasa respiratoria fuese dependiente de la concentración de oxígeno (Fry, 1947). Después de una hora, se procedió a tomar muestras de 20 mL de agua de

los drenes de cada cámara, para determinar la concentración de partículas en un contador de partículas Beckman Coulter Multisizer 3.

La tasa de ingestión (TI) se midió mediante la fórmula:

$$TI = [(Cb - Cc) * Fj] / PS$$

donde:

TI = tasa de ingestión

Cb = concentración de células del blanco (cél/mL)

Cc = concentración de células en las cámaras experimentales (cél/mL)

Fj = flujo del agua a través de la cámara (mL/h)

PS = peso seco del tejido de los organismos incubados (g)

Los resultados de la Tasa de Ingestión se expresaron en número de cél/g/h y fueron convertidos a unidades energéticas utilizando el equivalente energético de materia particulada (POM) 23500 J/g (Widdows *et al.*, 1979), tomando como referencia el peso de *I. galbana* de 28.5 pg/cél (Lora-Vilchis y Doktor, 2001).

Eficiencia de Absorción

La eficiencia de absorción fue estimada por el método de Conover (1966) que consiste en relacionar el contenido de materia orgánica e inorgánica en muestras de alimento y de las heces mediante la ecuación:

$$EA = (F - E) / (1 - E) F$$

donde:

F = Contenido de material orgánico del alimento / peso total del alimento

E = Contenido de material orgánico de la heces / peso total de las heces

El contenido de materia orgánica del alimento es equivalente al peso seco libre de cenizas del alimento, y el contenido de materia orgánica de las heces es equivalente al peso seco libre de cenizas de las heces. En este trabajo se consideró un contenido de materia orgánica en el alimento (*Isochrysis galbana*) de 0.86 pg/cél, tomando en consideración un peso seco libre de cenizas de 24.7 pg/cél y un peso seco total de 28.5 pg/cél (Lora-Vilchis y Doktor, 2001). El peso seco libre de cenizas de las heces y el peso seco de las heces, fueron determinados en un experimento *a posteriori* con ejemplares de talla similar (52.54 ± 1.86 mm de altura). Después de 2 horas de incubación se tomaron muestras de heces en filtros de fibra de vidrio de 0.75 μ m bajo presión negativa. Los filtros se lavaron previamente con agua destilada, se incineraron en una mufla para eliminar la materia orgánica (450°C) por 12 horas y se llevaron a peso constante para obtener el peso del filtro. Los filtros con heces fueron lavados con una solución de formato de amonio al 3% para eliminar las sales de sodio y fueron secados a 65°C hasta obtener un peso constante. Luego, los filtros con las heces fueron incinerados con el mismo método y se llevaron nuevamente a peso constante para tener el peso seco libre de cenizas (Sorokin, 1973).

Una vez obtenida la eficiencia de absorción (EA), se procedió a calcular la tasa de absorción como se indicó anteriormente.

Tasa Respiratoria

La tasa respiratoria se determinó simultáneamente a la tasa de ingestión en el mismo sistema de cámaras descrito, por diferencia entre la concentración de oxígeno de la cámara control, menos la de las cámaras con organismos. La concentración de oxígeno

(PO₂) se determinó con oxímetro Microx TX equipado con un sensor tipo microoptode de fibra de vidrio de 50 µm de diámetro, instalado en una celda de flujo continuo (Figura 19). El sensor fue conectado al puerto de salida del distribuidor de 5 vías para poder medir la concentración de oxígeno de cada cámara por separado sin alterar el flujo, abriendo la válvula correspondiente. Las concentraciones leídas por el Microx TX fueron registradas cada 5 seg en una computadora y fueron posteriormente graficadas para permitir el cálculo del PO₂ de cada cámara (Figura 20). El consumo de oxígeno se calculó por medio de la ecuación:

$$TR = [(O_{2b} - O_{2c}) * Fj] / PS$$

donde:

TR = tasa respiratoria

O_{2b} = concentración de oxígeno disuelto de la cámara control (mL/L)

O_{2c} = concentración de oxígeno disuelto en la cámara con organismos (mL/L)

Fj = flujo del agua a través de la cámara (mL/h)

PS = peso seco del tejido de los organismos incubados (g)

Los resultados de la tasa respiratoria expresados en mL O₂/g/h fueron transformados a unidades energéticas considerando que un mL de O₂ consumido es equivalente a 20.2 Joules (Elliot y Davison, 1975).

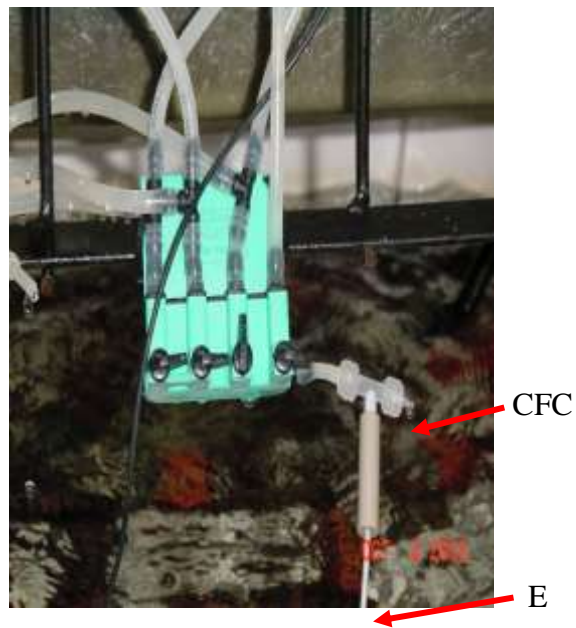


Figura 19. Sensor de oxígeno de fibra óptica (microoptode) del oxímetro Microx TX (E) montado en una celda de flujo continuo (CFC), el cual aparece colocado a la salida del distribuidor de cuatro vías para las determinaciones de oxígeno disuelto.

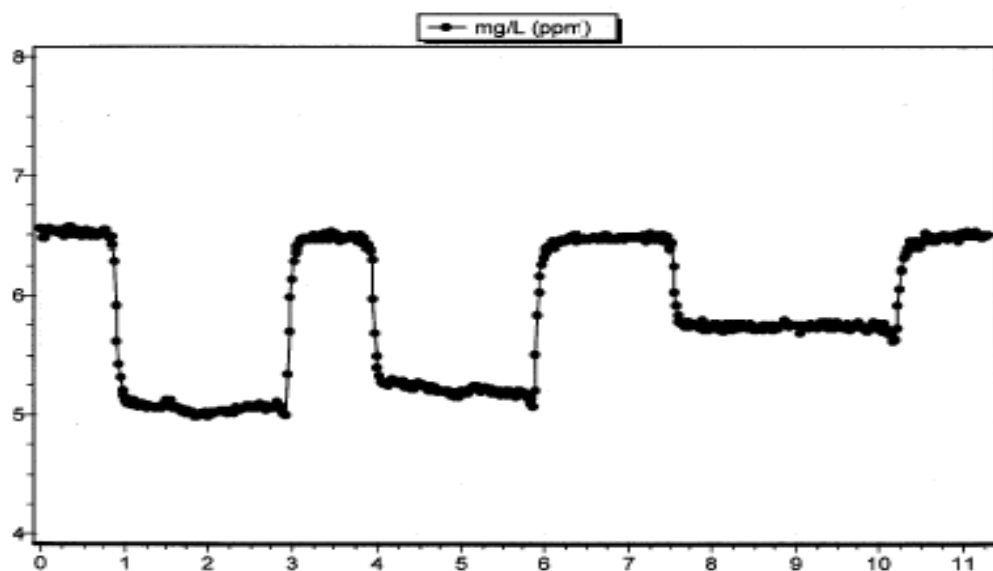


Figura 20. Ejemplo del registro de oxígeno disuelto desplegado en la pantalla de la PC conectada al oxímetro Microx TX durante un experimento. Las crestas y los valles corresponden a los valores del agua antes y después de pasar por una cámara con organismos

Tasa de Excreción

La tasa de excreción de los organismos se midió por diferencia entre el contenido de amonio de la cámara control, menos la concentración de los drenes de las cámaras con organismos del mismo experimento descrito con anterioridad. Tres muestras de cada cámara fueron tomadas en tubos eppendorf de 2 mL y fueron congelados a -80°C hasta su análisis. La concentración de amonio se estimó con la técnica de Solórzano (1969) adaptada a microplaca por Hernández-López y Vargas-Albores (2003). La tasa de excreción se calculó mediante la ecuación:

$$\text{TE} = [(\text{Ec} - \text{Eb}) * \text{Fj}] / \text{PS}$$

donde:

TE = tasa de excreción

Ec = concentración de amonio en la cámara con organismos ($\mu\text{gNH}_4/\text{mL}$)

Eb = concentración de amonio en la cámara control ($\mu\text{gNH}_4/\text{mL}$)

Fj = flujo del agua a través de la cámara (mL/h)

PS = peso seco del tejido de los organismos incubados (g)

La tasa de producción de amonio expresada en $\mu\text{gNH}_4/\text{g/h}$, fue convertida a unidades energéticas utilizando el equivalente energético de 7.37×10^{-3} Joules por μgNH_4 (Logan y Epifanio, 1978).

Efecto de los Tratamientos Térmicos Sobre la Talla y el Peso Seco de Tejidos

El efecto de los tratamientos térmicos sobre la talla y el peso seco de tejidos de los ejemplares sometidos a los tratamientos estables y oscilantes de temperatura, fue

evaluado comparando la altura de la concha y el peso seco de tejidos al final del experimento. Un grupo de 6 organismos para cada tratamiento, fueron medidos con un calibrador vernier y pesados en una balanza (Precisa Modelo XT 320 M) al inicio del experimento, y al concluir, los organismos de cada tanque fueron congelados en nitrógeno líquido y después fueron transferidos a un ultracongelador a -80°C. Posteriormente se midieron y pesaron con y sin concha para estimar la biomasa húmeda total y de los tejidos respectivamente. En virtud de que se requería determinar el contenido bioquímico de distintos componentes corporales por separado (manto, músculo abductor, glándula digestiva, gónada y resto de tejidos) (Capítulo 4), fueron separados dichos componentes de cada organismo en una plancha de hielo para evitar su descongelación y la pérdida de fluidos, y cada componente fue pesado por separado. Luego, una fracción de cada componente fue disectada para después estimar su peso húmedo y el peso seco. El peso seco (PS) de cada componente corporal se calculó mediante la ecuación:

$$PS = \frac{\text{Peso húmedo del componente corporal} \times \text{Peso seco de la fracción}}{\text{Peso húmedo de la fracción}}$$

El peso seco total se obtuvo sumando el peso seco de los componentes corporales.

Supervivencia

La supervivencia fue evaluada diariamente durante las tres etapas del experimento y en cada tanque. El cálculo de la supervivencia se realizó en relación al número inicial de organismos.

Análisis Estadísticos

Para el análisis estadístico se realizaron análisis de varianza de una vía, usando como variable independiente los tratamientos térmicos y como variable dependiente cada una de las tasas fisiológicas. Así mismo se compararon los datos de cada tratamiento térmico al inicio y final del periodo experimental. Cuando el análisis de varianza arrojó diferencias significativas ($P < 0.05$), se realizó una prueba a posteriori (Tukey) para comparación de medias.

RESULTADOS

Temperatura de los Tanques

Los registros de temperatura de uno de los tanques de cada tratamiento a lo largo del experimento se muestran en la Figura 21. Estos resultados muestran que los equipos mantuvieron las temperaturas deseadas en los diferentes tratamientos y etapas del experimento, a excepción de algunos eventos ocasionales producidos por fallas técnicas que serán discutidas posteriormente.

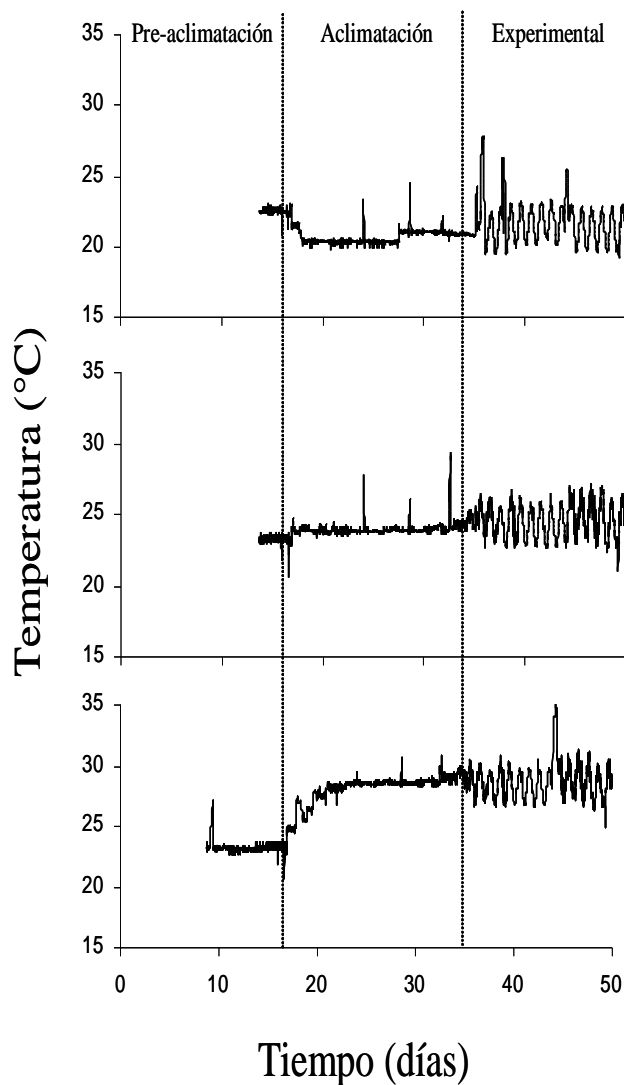


Figura 21. Registro de temperatura en uno de los tanques de cada tratamiento oscilante durante las tres etapas del experimento.

Raciones Alimenticias

En las Figuras 22, 23 y 24 se presentan las raciones alimenticias ofrecidas a los organismos durante las tres etapas del experimento. En la etapa de pre-aclimatación la disponibilidad de alimento inicial fue de $1.21 \text{ cél/ind/día} \times 10^8$ y en el periodo de aclimatación de $1.92 \text{ cél/ind/día} \times 10^8$ en todos los tanques. Sin embargo, en la etapa

experimental, la disponibilidad de alimento inicial fue variable y se inició con un promedio de 1.44 ± 0.37 cél/ind/día $\times 10^8$, presentándose una diferencia máxima inicial de 0.87 cél/ind/día $\times 10^8$ entre los organismos sometidos a $21 \pm 2^\circ\text{C}$ (Tanque 6) y los organismos mantenidos a temperatura de 24°C estable (Tanque 4). A lo largo de la etapa de pre-aclimatación no se presentaron diferencias mayores entre la mayoría de los tanques. Sin embargo, en el Tanque 4 los valores de disponibilidad de alimento fueron aumentando rápidamente llegando a una disponibilidad final de 2.11 cél/ind/día $\times 10^8$. En este tanque no se graficaron los datos a partir del día 8 para que se lograra observar la disponibilidad de alimento en los otros tanques. En el inicio del periodo de aclimatación la disponibilidad de alimento inicial fue de 1.92 cél/ind/día $\times 10^8$. Durante esta etapa, a partir del 5° día se comenzaron a observar diferencias entre los tratamientos térmicos, observándose mayor disponibilidad de alimento en los tratamientos de 28°C (Tanques 1 y 2) en ambos laboratorios. Así mismo, en uno de los tanques aclimatados a 24°C (Tanque 4, Laboratorio 1) la disponibilidad de alimento se vio incrementada en aproximadamente un 20% respecto a la disponibilidad inicial. El periodo experimental inició con diferencias en la disponibilidad de alimento entre los tanques debido a que este periodo no inició con la misma densidad por tina (Tabla VI). La disponibilidad de alimento promedio inicial durante este periodo fue de 1.44 ± 0.37 cél/ind/día $\times 10^8$ teniendo una diferencia máxima inicial de 0.88 cél/ind/día $\times 10^8$ entre los organismos aclimatados a 21°C (Tanque 6, Laboratorio 2) y los aclimatados a 24°C (Tanques 4, de ambos laboratorios). El incremento más notorio en la disponibilidad de alimento durante el periodo experimental se tuvo en los tratamientos térmicos de 28°C tanto en régimen estable como oscilante (Tanques 2, de ambos laboratorios). Particularmente, en el tratamiento de 28°C a un régimen oscilante, se observó que los valores de disponibilidad llegaron a 21.10 cél/ind/día $\times 10^8$ al final del periodo.

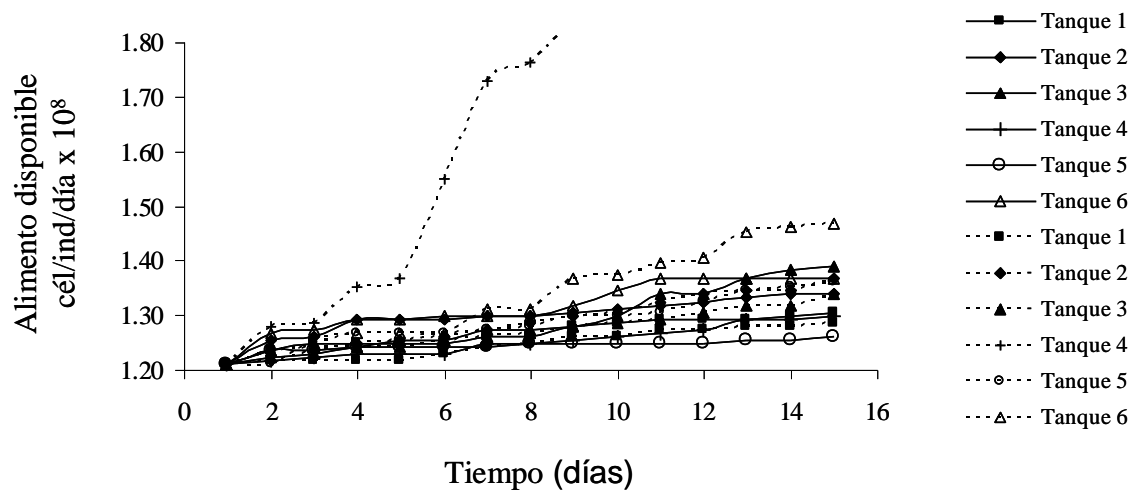


Figura 22. Raciones alimenticias proporcionada durante la aclimatación de almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*) de 65 mm aproximados de altura de la concha. Las líneas punteadas representan los tanques mantenidos en el laboratorio 1 de temperatura estable y las líneas continuas los tanques mantenidos en el laboratorio 2, controlados con el SITMA.

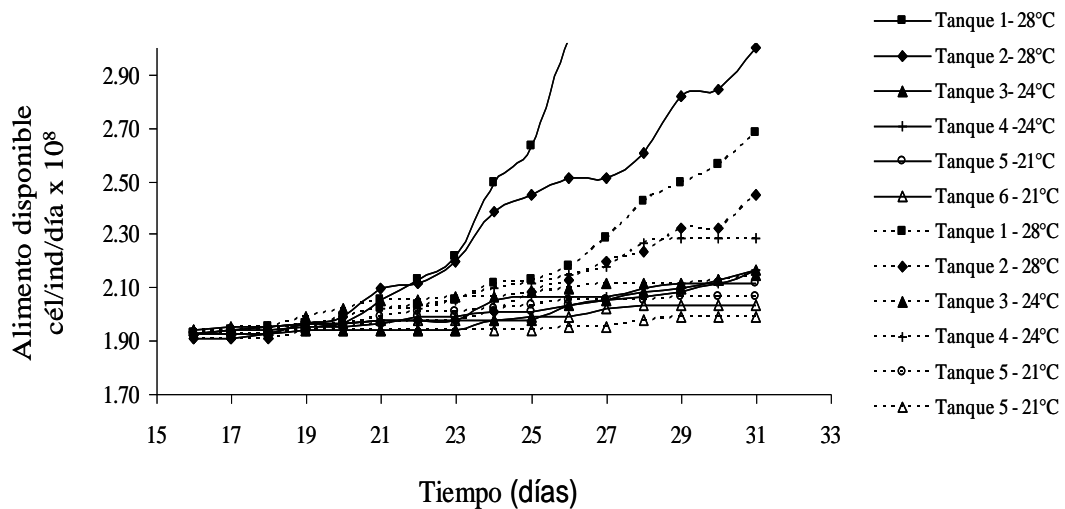


Figura 23. Raciones alimenticias proporcionadas durante la aclimatación de ejemplares de almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*) de altura de concha aproximada de 65mm en los tanques experimentales durante la etapa de aclimatación. Las líneas punteadas representan los tanques mantenidos en el laboratorio 1 de temperatura controlada y las líneas continuas los tanques mantenidos en el laboratorio 2, controlados con el SITMA.

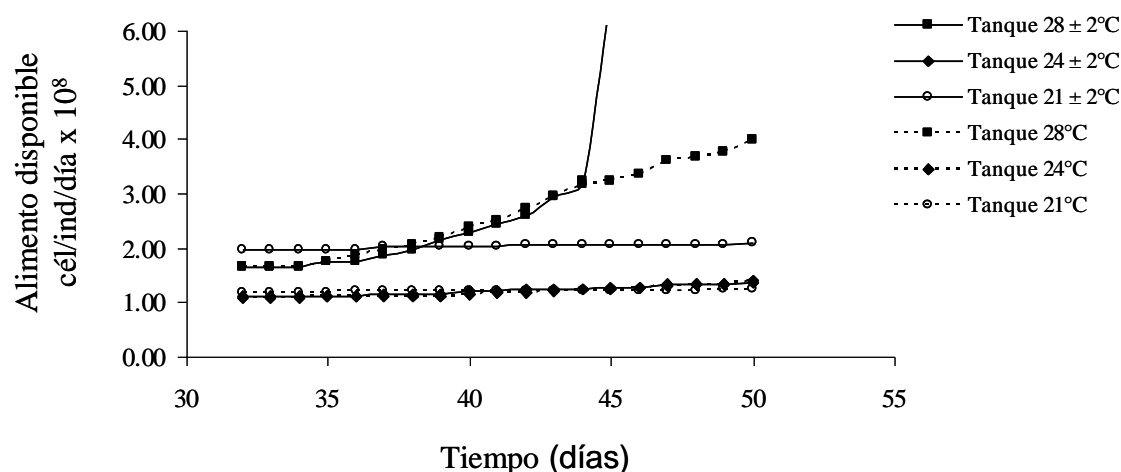


Figura 24. Raciones alimenticias proporcionadas en los diferentes tanques durante el periodo experimental a los ejemplares de almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*) de altura de concha aproximada de 65mm. Las líneas punteadas representan los tanques mantenidos en el laboratorio 1 de temperatura controlada y las líneas continuas los tanques mantenidos en el laboratorio 2, controlados con el SITMA.

TABLA VI

Densidad (ind/m²) de almeja mano de león (*Nodipecten subnososus*) de altura de la concha entre 6-7 mm utilizada en los diferentes periodos de mantenimiento.

Ubicación	Tanque	Periodo					
		Pre-aclimatación		Aclimatación		Experimentación	
		inicial	final	inicial	final	inicial	Final
Laboratorio 1	1	215	203	148	106	X	X
	2	215	191	149	116	169	70
	3	215	195	148	133	X	X
	4	215	123	148	124	258	202
	5	215	192	148	138	X	X
	6	215	178	147	143	237	227
Laboratorio 2	1	215	200	148	59	X	X
	2	215	195	149	95	169	13
	3	215	188	148	132	X	X
	4	215	201	148	132	255	207
	5	215	207	148	132	X	X
	6	215	201	147	140	143	135

Potencial de Crecimiento

En esta sección se presentan los resultados de las tasas fisiológicas de absorción, respiración y excreción a partir de las cuales se calculó el potencial de crecimiento.

Tasa de Absorción

Como se indicó anteriormente, la tasa de absorción se calculó, multiplicando la tasa de ingestión por la eficiencia de absorción.

Tasa de Ingestión

En la Tabla VII se muestran los promedios de tasa de ingestión (TI) obtenidos los días 1 y 13 en los tratamientos estables y en los días 1, 8 y 13 en los oscilantes. A temperatura estable, los resultados indican que no hubo un efecto de la temperatura sobre la tasa de ingestión, la cual varió entre 4.7×10^7 y 5.3×10^7 céls/g/h. Sin embargo, la TI a temperaturas oscilantes, fue superior ($P < 0.05$) con un valor mínimo de 4.7×10^7 y máximo de 8.1×10^7 céls/g/h, aunque a excepción del día 8, tampoco se observó un patrón del efecto de la temperatura sobre la TI. Los promedios de ese día, declinaron de 6.2 ± 1.7 céls/g/h a 21 ± 2 °C, a 5.4 ± 1.3 y 5.0 ± 1.8 céls/g/h a 24 ± 2 y 28 ± 2 °C, respectivamente. La aparente ausencia de un patrón definido los días 1 y 13 se debió al bajo número de mediciones realizadas (dos el día 1 y una el día 13). En la Tabla VIII se muestran las TI de la almeja mano de león sometida a temperaturas oscilantes los días 1, 8 y 13 a diferentes tiempos de medición. Aquí se puede apreciar un decremento de la TI conforme transcurrieron los días, lo cual posiblemente refleje la aclimatación de los

organismos a las condiciones fluctuantes de temperatura. La TI medida cada 3 h el día 8 (Figura 25; Tabla VIII resultados), disminuyó y posteriormente se incrementó gradualmente hacia el final del experimento de ese día, en los tratamientos 21 ± 2 y 24 ± 2 °C. Este patrón se repitió en el tratamiento 28 ± 2 °C, pero en este caso la TI cayó después de haber alcanzado su valor máximo. La prueba de Tukey en la Tabla VIII demuestra altas variaciones de TI en un mismo día (día 8) producidas por la temperatura. Sin embargo, las diferencias de TI entre horas de medición tendieron a disminuir según se observa el día 13 a 24 ± 2 °C.

Tabla VII. Tasa de ingestión (TI) (#céls /g/h x 10⁷) de individuos de la almeja mano de león *Nodipecten subnodosus* (67.4 ± 3.1 mm de altura), sometidos a temperaturas estables y oscilantes, al inicio y al final de un periodo de exposición de 13 días. En las temperaturas oscilantes, se muestran los valores medidos en los valles, nodos y crestas de la oscilación térmica. Los valores son la media ± DE. Columnas con letras minúsculas diferentes y filas con letras mayúsculas distintas, indican diferencias significativas (*P*<0.05). n = 3.

Temperatura estable			Temperatura oscilante			
Tratamiento (°C)	Día de medición		Tratamiento (°C)	Día de medición		
	1	13		1	8	13
21	4.9 ± 0.5 ^{aA}	4.8 ± 1.1 ^{aA}	21 ± 2	7.6 ± 0.7 ^{aA}	6.2 ± 1.7 ^{aB}	5.5 ± 2.1 ^{aAB}
24	5.3 ± 0.3 ^{aA}	4.5 ± 1.1 ^{aA}	24 ± 2	8.1 ± 1.1 ^{bA}	5.4 ± 1.3 ^{aAB}	4.7 ± 0.6 ^{aA}
28	4.7 ± 0.5 ^{abA}	5.0 ± 1.0 ^{abA}	28 ± 2	7.6 ± 1.4 ^{bA}	5.0 ± 1.8 ^{aA}	7.2 ± 1.0 ^{abB}

Tabla VIII. Tasa de ingestión (#céls/g/h x 10⁷) de individuos de la almeja mano de león *Nodipecten subnodosus* (67.4 ± 3.1 mm de altura) sometida a temperaturas oscilantes, medida a diferentes horas del día, los días 1, 8 y 13 del experimento. Los valores son la media ± DE. Columnas con letras minúsculas diferentes y filas con letras mayúsculas distintas, indican diferencias significativas ($P < 0.05$). n = 3.

Tratamiento (°C)	Tiempo de medición (h)	Temperatura de medición (°C)	Día de medición		
			1	8	13
21 ± 2	0	19	8.1 ± 0.4 ^{aA}	8.0 ± 1.6 ^{aE}	8.0 ± 1.3 ^{aB}
	3	20	-	5.5 ± 0.3 ^{ABCDE}	-
	6	21	-	4.5 ± 1.9 ^{aABCD}	4.0 ± 0.3 ^{aA}
	9	22	-	4.8 ± 1.8 ^{ABCDE}	-
	12	23	6.8 ± 0.4 ^{bA}	6.1 ± 1.1 ^{abBCDE}	4.4 ± 0.4 ^{aA}
	15	22	-	6.3 ± 1.3 ^{BCDE}	-
	18	21	-	7.4 ± 1.5 ^{DE}	-
	21	20	-	6.6 ± 1.5 ^{BCDE}	-
24 ± 2	0	22	7.5 ± 0.7 ^{bA}	7.1 ± 0.9 ^{bDE}	5.3 ± 0.3 ^{aA}
	3	23	-	4.8 ± 0.9 ^{CDE}	-
	6	24	-	3.5 ± 0.3 ^{aAB}	4.0 ± 0.3 ^{aB}
	9	25	-	4.7 ± 0.4 ^{ABCD}	-
	12	26	9.0 ± 0.8 ^{bA}	5.5 ± 0.9 ^{aABCDE}	4.4 ± 0.4 ^{aA}
	15	25	-	5.0 ± 0.7 ^{ABCDE}	-
	18	24	-	6.5 ± 0.6 ^{BCDE}	-
	21	23	-	6.3 ± 1.0 ^{BCDE}	-
28 ± 2	0	26	7.3 ± 1.5 ^{aA}	6.2 ± 1.0 ^{aBCDE}	-
	3	27	-	4.2 ± 0.6 ^{ABCD}	-
	6	28	-	2.3 ± 0.7 ^A	-
	9	29	-	3.4 ± 0.9 ^{AB}	-
	12	30	7.9 ± 1.7 ^{bA}	4.2 ± 1.1 ^{aABCD}	7.2 ± 1.0 ^{abB}
	15	29	-	5.5 ± 0.6 ^{ABCDE}	-
	18	28	-	7.2 ± 0.6 ^{DE}	-
	21	27	-	6.7 ± 0.3 ^{CDE}	-

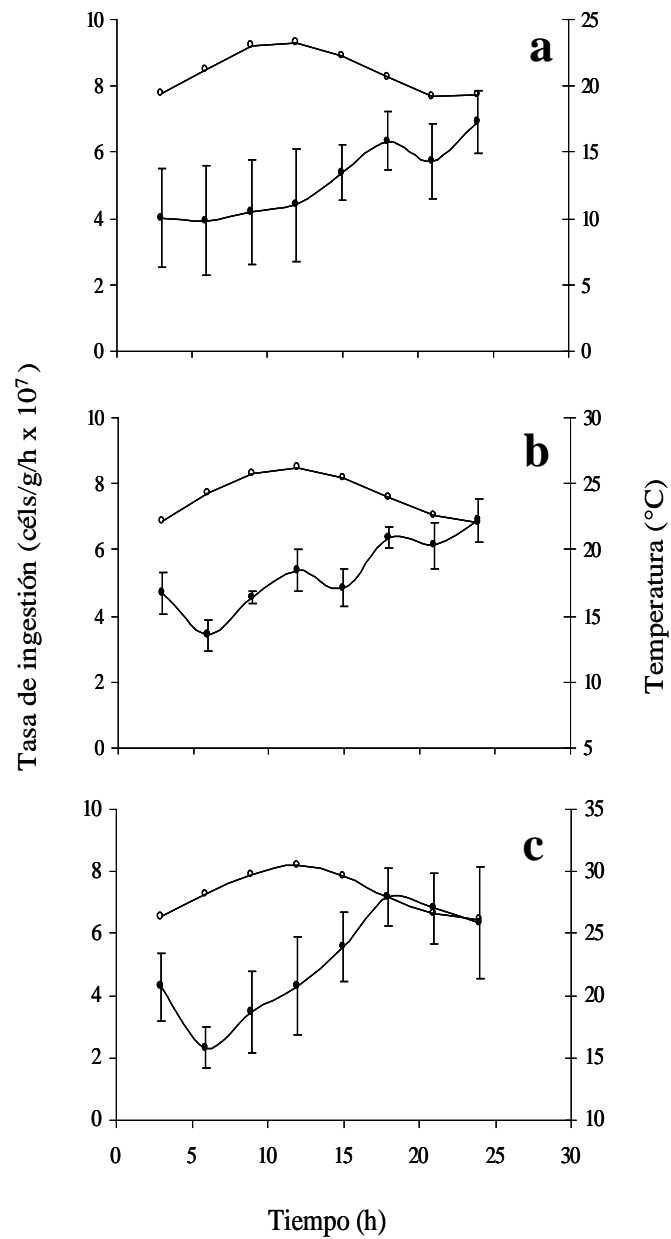


Figura 25. Tasa de ingestión (●) de la almeja mano de león *Nodipecten subnodosus* ($67.4 \pm 3.1\text{mm}$ de altura de la concha) registrada cada 3h el día 8, sometida a los tratamientos de temperatura (○) $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$ (a), $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$ (b) y $28 \pm 2^{\circ}\text{C}$ (c). Los valores representan la media \pm DE. $n = 3$.

Eficiencia de Absorción

La eficiencia de absorción encontrada en la almeja mano de león (52.54 ± 1.86 mm de altura) fue superior a temperatura oscilante (66.2 ± 0.2 %) que a temperatura estable (56.7 ± 1.9 %). Debido a que la eficiencia de absorción sólo se determinó al sexto día de oscilación térmica, no se pudo conocer si la AE varía con el tiempo. El análisis de varianza mostró un efecto por el régimen térmico utilizado sobre esta variable ($P < 0.05$).

Cálculo de la Tasa de Absorción

Los promedios de las tasas de absorción (TA) los días 1 y 13 a temperatura estable y los días 1, 8 y 13 a temperatura oscilante, se muestran en la Tabla IX. Como en la TI, los valores de TA a temperatura estable fueron significativamente menores ($P < 0.05$) que a temperatura oscilante, con valores promedio entre 20.0 ± 4.8 (J/g/h) y 23.6 (J/g/h). A temperaturas oscilantes, TA tendió a disminuir conforme pasó el tiempo lo cual se observa claramente en los tratamientos 21 ± 2 °C y 24 ± 2 °C. En el tratamiento 28 ± 2 °C, la TA cayó de 39.7 ± 7.5 (J/g/h) a 25.9 ± 9.2 (J/g/h) en los días 1 y 8 respectivamente, y posteriormente se incrementó a 37.5 ± 5.1 (J/g/h) el día 13. A excepción del día 8, no se observó un efecto de la temperatura sobre la TA, debido posiblemente al bajo número de mediciones realizadas los días 1 y 13. En la Tabla X se muestran las TA de los tratamientos oscilantes a diferentes tiempos de medición. La prueba de Tukey confirmó la alta variabilidad de TA con respecto a los tiempos de medición (especialmente el día 8), como resultado de los cambios de temperatura. Esta variabilidad aparentemente disminuye en el día 13, según se aprecia en el tratamiento 24

± 2 °C. Un análisis de covarianza posterior demostró que la tasa de absorción en relación al régimen térmico fue influenciada por el tiempo.

Tabla IX. Tasa de absorción (TA) (J/g/h) de individuos de la almeja mano de león *Nodipecten subnodosus* (67.4 ± 3.1 mm de altura), sometidos a temperaturas estables y oscilantes, al inicio y al final de un periodo de exposición de 13 días. Los valores son la media \pm DE. Letras minúsculas diferentes entre columnas de una misma fila, y letras mayúsculas distintas entre filas de una misma columna indican diferencias significativas ($P < 0.05$). n = 3.

Temperatura estable			Temperatura oscilante			
Tratamiento (°C)	Día de medición		Tratamiento (°C)	Día de medición		
	1	13		1	8	13
21	21.9 ± 2.1^{abA}	21.3 ± 4.7^{aA}	21 ± 2	39.4 ± 3.9^{bA}	32.2 ± 9.0^{abB}	28.6 ± 10.7^{abAB}
24	23.6 ± 1.2^{aA}	20.0 ± 4.8^{aA}	24 ± 2	42.2 ± 5.5^{bA}	28.3 ± 6.8^{aAB}	24.5 ± 2.9^{aA}
28	21.0 ± 2.1^{aA}	22.5 ± 4.6^{abA}	28 ± 2	39.7 ± 7.5^{bA}	25.9 ± 9.2^{abA}	37.5 ± 5.1^{aB}

Tabla X. Tasa de absorción (J/g/h) de individuos de la almeja mano de león *Nodipecten subnodosus* (67.4 ± 3.1 mm de altura) sometida a temperaturas oscilantes, medida cada tres horas los días 1, 8 y 13 del experimento. Los valores son la media \pm DE. Letras minúsculas diferentes entre columnas de una misma fila, y letras mayúsculas distintas entre filas de una misma columna indican diferencias significativas ($P < 0.05$). $n = 3$.

Tratamiento (°C)	Tiempo de medición (h)	Temperatura de medición (°C)	Día de medición		
			1	8	13
21 ± 2	0	19	42.2 ± 0.2^{aA}	41.9 ± 8.5^{aE}	41.9 ± 6.8^{aB}
	3	20	-	28.4 ± 0.2^{ABCDE}	-
	6	21	-	23.5 ± 10.0^{aABCD}	20.9 ± 1.2^{aA}
	9	22	-	25.1 ± 9.4^{ABCDE}	-
	12	23	35.3 ± 1.9^{bA}	31.8 ± 5.7^{abBCDE}	22.9 ± 2.3^{aA}
	15	22	-	32.6 ± 6.8^{BCDE}	-
	18	21	-	38.4 ± 7.9^{DE}	-
	21	20	-	34.6 ± 7.6^{BCDE}	-
24 ± 2	0	22	39.0 ± 3.4^{bA}	37.0 ± 4.6^{bDE}	27.8 ± 1.4^{aA}
	3	23	-	25.1 ± 4.6^{ABCDE}	-
	6	24	-	18.1 ± 1.7^{aABC}	21.8 ± 0.9^{bA}
	9	25	-	24.4 ± 2.3^{ABCD}	-
	12	26	47.0 ± 4.3^{bA}	28.8 ± 4.8^{aABCDE}	23.8 ± 1.5^{aA}
	15	25	-	25.9 ± 3.6^{ABCDE}	-
	18	24	-	34.1 ± 3.3^{BCDE}	-
	21	23	-	32.9 ± 5.4^{BCDE}	-
28 ± 2	0	26	38.3 ± 7.7^{aA}	32.4 ± 5.2^{aBCDE}	-
	3	27	-	21.9 ± 3.3^{ABCD}	-
	6	28	-	12.2 ± 3.4^A	-
	9	29	-	17.5 ± 4.6^{AB}	-
	12	30	41.0 ± 8.7^{bA}	21.8 ± 5.5^{aABCD}	37.5 ± 5.1^{abB}
	15	29	-	28.8 ± 2.9^{ABCDE}	-
	18	28	-	37.4 ± 3.2^{DE}	-
	21	27	-	35.2 ± 1.3^{CDE}	-

Tasa Respiratoria

En la Tabla XI se muestran los promedios de tasa respiratoria (TR) de *N. subnodosus* los días 1, 4 y 13 a temperaturas estables, y los días 1, 4, 8 y 13 a temperaturas oscilantes. A temperatura estable, los valores de TR variaron entre 0.5 ± 0.1 y 1.2 ± 0.1 mL O_2 /g/h y no hubo un efecto de los días de medición sobre la TR de acuerdo a la prueba de Tukey. Solamente el día 1 de medición se obtuvo un efecto de la temperatura sobre la TR. La TR de los tratamientos 21 ± 2 y 28 ± 2 °C a temperaturas oscilantes muestra una tendencia a aumentar entre los días 1 y 4 y posteriormente decrece a los 8 y 13 días a los mismos niveles registrado a sus correspondientes temperaturas estables, lo cual indica un proceso de aclimatación. Un patrón similar se obtuvo en el tratamiento 24 ± 2 °C pero en este caso no se observó el incremento en el día 4 sino que la TR decreció sostenidamente de 0.9 ± 0.1 mL O_2 /g/h en el día 1, a 0.6 mL O_2 /g/h en el día 13. Solamente se observó un efecto significativo ($P < 0.05$) de la temperatura sobre la TR los días 8 y 13. El día 8, el promedio se incrementó de 0.7 ± 0.2 mL O_2 /g/h a 21 ± 2 °C a 1.0 ± 0.2 mL O_2 /g/h a 28 ± 2 °C. El día 13 el promedio subió de 0.5 ± 0.1 mL O_2 /g/h a 21 ± 2 °C a 0.8 ± 0.1 mL O_2 /g/h a 28 ± 2 °C. En la Tabla XII se presentan las TR a temperaturas oscilantes a diferentes tiempos de medición, los días 1, 4, 8 y 13. Aquí se aprecia la alta variabilidad de la TR a las diferentes horas de medición, especialmente en el día 8. También se observa que esta variabilidad entre tiempos de medición disminuye significativamente ($P < 0.05$) el día 13. Las variaciones de TR con respecto a la temperatura en el día 8 de experimentación, se ilustran en la Figura 26. La TR sigue el mismo patrón que la temperatura oscilante en los tres tratamientos, pero existe un desfase retrasado de la TR de aproximadamente 3h. La TR alcanza su máximo valor cuando la temperatura se encuentra declinando tres horas después de la cresta de

la oscilación. Posteriormente, la TR cae rápidamente pero vuelve a incrementarse cuando la temperatura continúa bajando. Este fenómeno ocurre al parecer como un efecto de rebote y es más evidente en los tratamientos 21 ± 2 y 24 ± 2 °C.

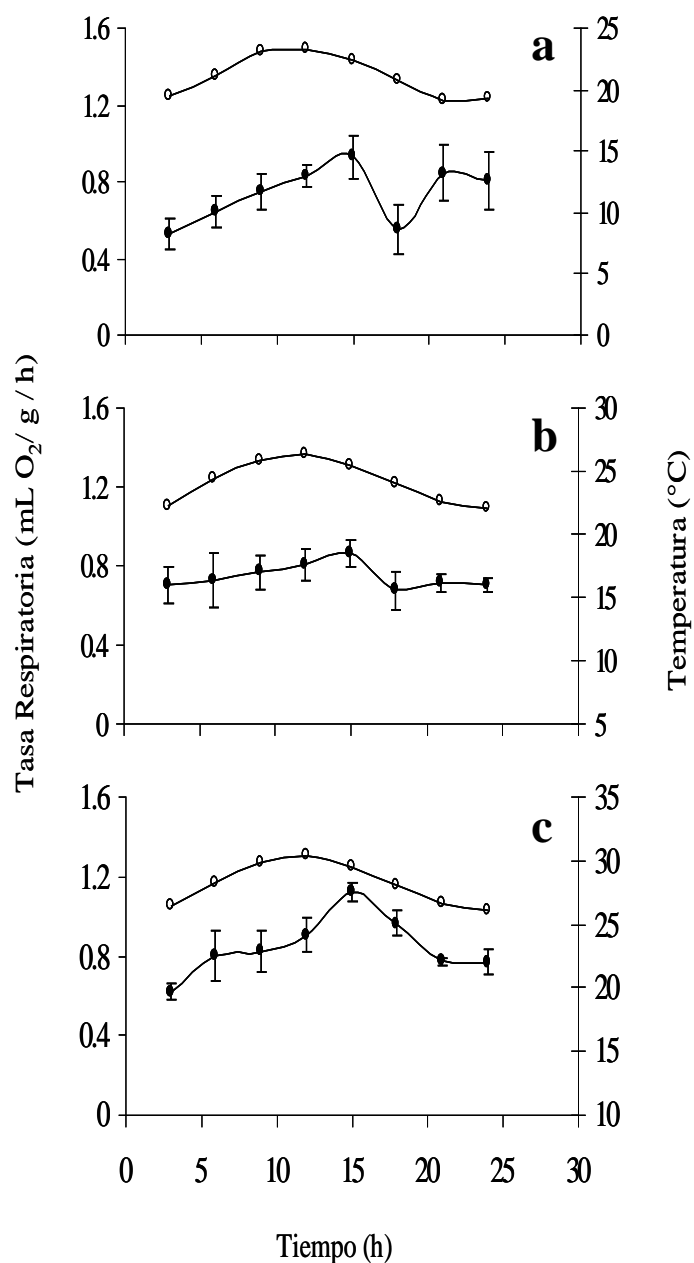


Figura 26. Tasa respiratoria (●) de la almeja mano de león (67.4 ± 3.1 mm de altura) registrada cada 3 h durante el día 8 del experimento, sometida a los tratamientos oscilantes de temperatura (○) 21 ± 2 °C (a), 24 ± 2 °C (b) y 28 ± 2 °C (c). Los datos

Tabla XI. Tasa respiratoria (TR) (mLO₂/g/h) de individuos de la almeja mano de león *Nodipecten subnodosus* (67.4 ± 3.1 mm de altura), sometidos a temperaturas estables y oscilantes, al inicio y al final de un periodo de exposición de 13 días. En las temperaturas oscilantes, se muestran los valores medidos en los valles, nodos y crestas de la oscilación térmica. Los valores son la media \pm DE. Columnas con letras minúsculas diferentes y filas con letras mayúsculas distintas, indican diferencias significativas ($P < 0.05$). n = 3.

Temperatura estable				Temperatura oscilante				
Tratamiento	Día de medición			Tratamiento	Día de medición			
(°C)	1	4	13	(°C)	1	4	8	13
21	0.5 ± 0.1^{abA}	0.8 ± 0.2^{abcA}	0.7 ± 0.1^{abcA}	21 ± 2	0.7 ± 0.1^{abcA}	1.0 ± 0.4^{cA}	0.7 ± 0.2^{bcA}	0.5 ± 0.1^{aA}
24	0.6 ± 0.1^{aA}	0.7 ± 0.2^{abA}	0.9 ± 0.2^{abA}	24 ± 2	0.9 ± 0.1^{bA}	0.7 ± 0.2^{abA}	0.7 ± 0.1^{abA}	0.6 ± 0.1^{aA}
28	1.2 ± 0.1^{aB}	1.2 ± 0.1^{aA}	0.7 ± 0.1^{aA}	28 ± 2	0.9 ± 0.1^{aA}	1.0 ± 0.4^{aA}	1.0 ± 0.2^{aB}	0.8 ± 0.1^{aB}

Tabla XII. Tasa respiratoria (mLO₂/g/h) de individuos de la almeja mano de león *Nodipecten subnodosus* (67.4 ± 3.1 mm de altura) sometida a temperaturas oscilantes, medida a diferentes horas del día, los días 1, 8 y 13 del experimento. Los valores son la media ± DE. Columnas con letras minúsculas diferentes y filas con letras mayúsculas distintas, indican diferencias significativas ($P < 0.05$). n = 3.

Tratamiento (°C)	Tiempo de medición (h)	Temperatura de medición (°C)	Día de medición			
			1	4	8	13
21 ± 2	0	19	0.6 ± 0.1 ^{aA}	-	0.8 ± 0.2 ^{aABCDE}	0.6 ± 0.2 ^{aAB}
	3	20	-	-	0.5 ± 0.1 ^A	-
	6	21	-	0.7 ± 0.7 ^{aAB}	0.6 ± 0.1 ^{aABC}	0.5 ± 0.1 ^{aAB}
	9	22	-	-	0.7 ± 0.1 ^{ABCDE}	-
	12	23	0.8 ± 0.0 ^{bABC}	1.4 ± 0.0 ^{cC}	0.8 ± 0.1 ^{cBCDE}	0.5 ± 0.1 ^{aA}
	15	22	-	-	0.9 ± 0.1 ^{DEF}	-
	18	21	-	-	0.6 ± 0.1 ^{AB}	-
	21	20	-	-	0.8 ± 0.2 ^{BCDEF}	-
24 ± 2	0	22	1.0 ± 0.0 ^{bBC}	-	0.7 ± 0.0 ^{aABCDE}	0.6 ± 0.1 ^{aAB}
	3	23	-	-	0.7 ± 0.1 ^{ABCDE}	-
	6	24	-	0.5 ± 0.2 ^{aA}	0.7 ± 0.1 ^{aABCDE}	0.5 ± 0.2 ^{aAB}
	9	25	-	-	0.8 ± 0.1 ^{ABCDE}	-
	12	26	0.8 ± 0.0 ^{aABC}	0.9 ± 0.1 ^{aB}	0.8 ± 0.1 ^{aABCDE}	0.6 ± 0.1 ^{aAB}
	15	25	-	-	0.9 ± 0.1 ^{BCDEF}	-
	18	24	-	-	0.7 ± 0.1 ^{ABCD}	-
	21	23	-	-	0.7 ± 0.1 ^{ABCDE}	-
28 ± 2	0	26	0.8 ± 0.1 ^{aAB}	-	0.8 ± 0.1 ^{aABCDE}	-
	3	27	-	-	0.6 ± 0.0 ^{AB}	-
	6	28	-	0.6 ± 0.1 ^{aAB}	0.8 ± 0.1 ^{aABCDE}	-
	9	29	-	-	0.8 ± 0.1 ^{BCDE}	-
	12	30	1. ± 0.1 ^{bC}	1.4 ± 0.1 ^{cC}	0.9 ± 0.1 ^{abCDEF}	0.8 ± 0.1 ^{aB}
	15	29	-	-	1.1 ± 0.1 ^F	-
	18	28	-	-	1.0 ± 0.1 ^{EF}	-
	21	27	-	-	0.8 ± 0.0 ^{ABCDE}	-

Tasa de Excreción

Los promedios de tasa de excreción (TE) de la almeja mano de león a temperaturas estables los días 1 y 13 y a temperaturas oscilantes los días 1, 8 y 13, se presentan en la Tabla XIII. En esta tabla se observa que la excreción de amonio se incrementó significativamente ($P<005$) con los días de medición, tanto a temperaturas estables como oscilantes. A temperaturas estables el rango de valores fue muy amplio ($0.04 \pm 0.01 - 0.2 \pm 0.01$ mgNH₄/g/h) y mas estrecho a temperaturas oscilantes ($0.03 \pm 0.00 - 0.15 \pm 0.03$ mgNH₄/g/h). Solamente se observó un efecto de la temperatura sobre la TE el día 1 a temperaturas estables donde el promedio de TE incrementó de 0.04 ± 0.01 a 0.07 ± 0.01 mgNH₄/g/h a 21 y 28 °C respectivamente, y el día 8 a temperaturas oscilantes, incrementándose de 0.07 ± 0.03 a 0.10 ± 0.02 mgNH₄/g/h a 21 ± 2 y 28 ± 2 °C, respectivamente. En la Tabla XIV se presentan las TE de los tratamientos oscilantes los días 1, 8 y 13 a diferentes tiempos de medición. La prueba de Tukey demuestra el incremento significativo de la TE con el tiempo y se observa una alta variabilidad de los valores en el día 8 de experimentación. Estos valores junto con la temperatura se ilustran en la Figura 27. Sin considerar el valor inicial en los tratamientos 24 ± 2 y 28 ± 2 °C, la TE sigue el patrón de la temperatura, aunque al alcanzar el valor máximo, se observa un decremento para luego volver a incrementarse antes de caer abruptamente al valor mínimo en 3 a 6 h, cuando la temperatura se encontraba en descenso. Después la TE tiende a elevarse nuevamente cuando la temperatura aún continúa en descenso.

Tabla XIII. Tasa de excreción (TE) (mgNH₄/g/h) de individuos de la almeja mano de león *Nodipecten subnodosus* (67.4 ± 3.1 mm de altura), sometidos a temperaturas estables y oscilantes, al inicio y al final de un periodo de exposición de 13 días. En las temperaturas oscilantes, se muestran los valores medidos en los valles, nodos y crestas de la oscilación térmica. Los valores son la media ± DE. Columnas con letras minúsculas diferentes y filas con letras mayúsculas distintas, indican diferencias significativas (*P*<0.05). n = 3.

Temperatura estable			Temperatura oscilante			
Tratamiento (°C)	Día de medición		Tratamiento (°C)	Día de medición		
	1	13		1	8	13
21	0.04 ± 0.01 ^{aA}	0.15 ± 0.02 ^{bB}	21 ± 2	0.07 ± 0.06 ^{abA}	0.07 ± 0.03 ^{aA}	0.12 ± 0.06 ^{abA}
24	0.04 ± 0.01 ^{aA}	0.08 ± 0.01 ^{abA}	24 ± 2	0.04 ± 0.01 ^{aA}	0.11 ± 0.04 ^{bcB}	0.15 ± 0.03 ^{cA}
28	0.07 ± 0.01 ^{abB}	0.20 ± 0.01 ^{dC}	28 ± 2	0.03 ± 0.00 ^{aA}	0.10 ± 0.02 ^{bcB}	0.14 ± 0.05 ^{cA}

Tabla XIV. Tasa de excreción (TE) (mgNH₄/g/h) de individuos de la almeja mano de león *Nodipecten subnodosus* (67.4 ± 3.1 mm de altura) sometida a temperaturas oscilantes, medida a diferentes horas del día, los días 1, 8 y 13 del experimento. Los valores son la media ± DE. Columnas con letras minúsculas diferentes y filas con letras mayúsculas distintas, indican diferencias significativas ($P < 0.05$). n = 3.

Tratamiento (°C)	Tiempo de medición (h)	Temperatura de medición (°C)	Día de medición		
			1	8	13
21 ± 2	0	19	0.02 ± 0.01 ^{aA}	0.07 ± 0.00 ^{aABCDE}	0.14 ± 0.09 ^{aA}
	3	20	-	0.04 ± 0.00 ^A	-
	6	21	-	0.06 ± 0.02 ^{aABC}	0.08 ± 0.02 ^{aA}
	9	22	-	0.09 ± 0.02 ^{BCDEFG}	-
	12	23	0.14 ± 0.01 ^{aB}	0.07 ± 0.00 ^{aBCDEF}	0.12 ± 0.04 ^{aA}
	15	22	-	0.11 ± 0.02 ^{EFGH}	-
	18	21	-	0.05 ± 0.01 ^{aB}	-
	21	20	-	0.06 ± 0.01 ^{AB}	-
24 ± 2	0	22	0.04 ± 0.01 ^{aA}	0.08 ± 0.01 ^{bABCDE}	0.19 ± 0.09 ^{cA}
	3	23	-	0.18 ± 0.00 ^J	-
	6	24	-	0.10 ± 0.01 ^{aCDEFG}	0.16 ± 0.02 ^{bA}
	9	25	-	0.16 ± 0.02 ^{IJ}	-
	12	26	0.04 ± 0.01 ^{aA}	0.12 ± 0.02 ^{bGHI}	0.12 ± 0.04 ^{bA}
	15	25	-	0.16 ± 0.01 ^{IJ}	-
	18	24	-	0.08 ± 0.00 ^{ABCDEF}	-
	21	23	-	0.07 ± 0.01 ^{ABCD}	-
28 ± 2	0	26	0.04 ± 0.00 ^{aA}	0.07 ± 0.01 ^{bABCDE}	-
	3	27	-	0.15 ± 0.00 ^{HIJ}	-
	6	28	-	0.09 ± 0.01 ^{BCDEFG}	-
	9	29	-	0.10 ± 0.00 ^{BCDEFG}	-
	12	30	0.03 ± 0.00 ^{aA}	0.11 ± 0.01 ^{bDEFGH}	0.14 ± 0.05 ^{bA}
	15	29	-	0.11 ± 0.01 ^{FGH}	-
	18	28	-	0.10 ± 0.00 ^{DEFG}	-
	21	27	-	0.07 ± 0.01 ^{ABCD}	-

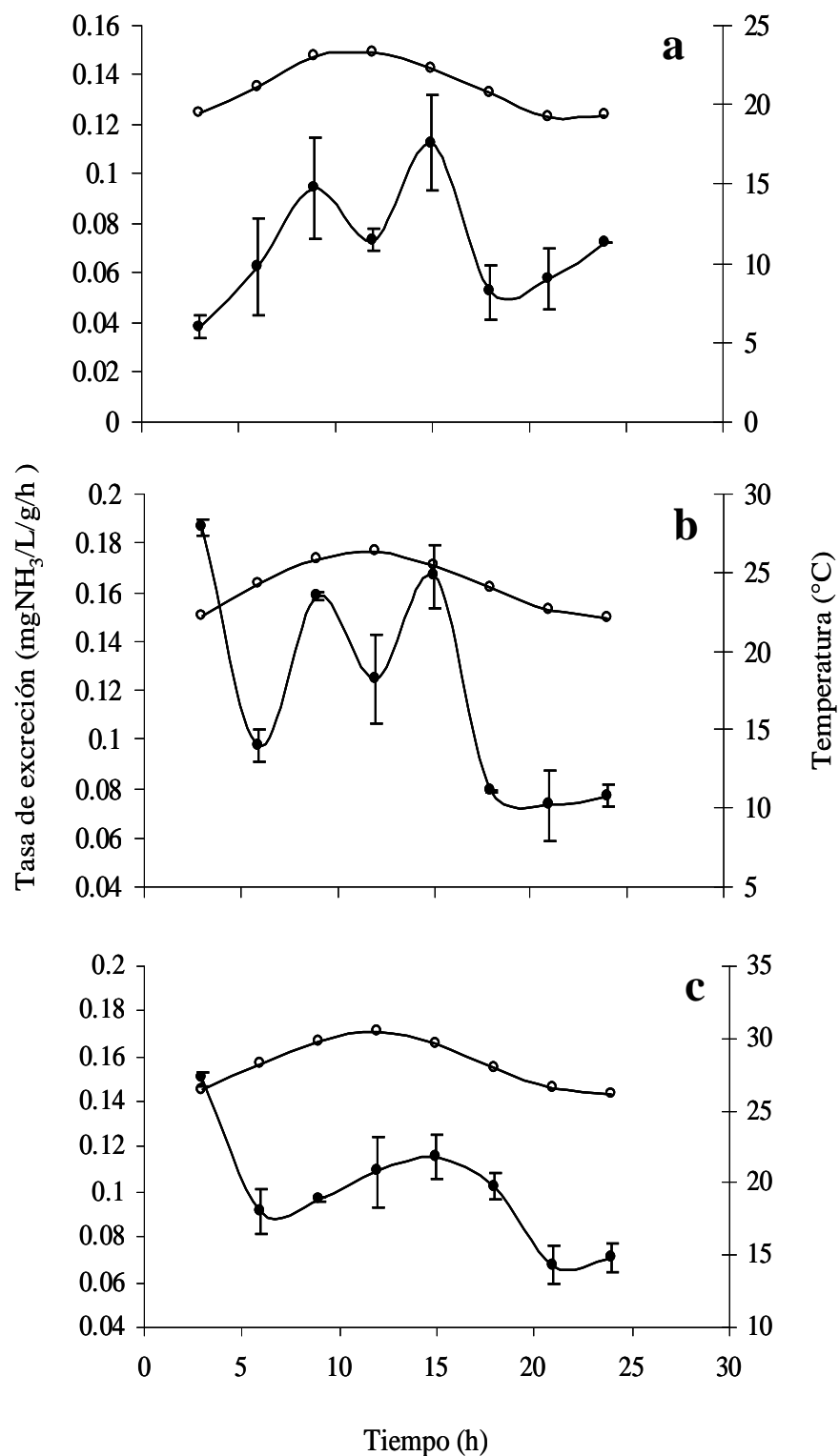


Figura 27. Tasa de excreción (●) de la almeja mano de león (67.4 ± 3.1 mm de altura) registrada cada 3 h durante el día 8 del experimento, sometida a los tratamientos oscilantes de temperatura (○) 21 ± 2 °C (a), 24 ± 2 °C (b) y 28 ± 2 °C (c). Los datos son la media \pm DE. $n = 3$

Cálculo del Potencial de Crecimiento

Con estas tasas fisiológicas se calculó el potencial de crecimiento (PC) de la almeja mano de león, a condiciones estables y oscilantes de temperatura. En la Tabla XV se presentan los promedios obtenidos a condiciones estables los días 1 y 13, y a condiciones oscilantes los días 1, 8 y 13. Aquí se aprecia que los valores de PC a temperaturas oscilantes fueron a excepción del registrado el día 8 a 28 ± 2 °C, estadísticamente ($P < 0.05$) mayores que los obtenidos a temperaturas estables. El rango de valores a temperaturas estables fue de -4.1 ± 2.3 – 12.1 ± 3.8 J/g/h y en las oscilantes de 5.6 ± 11.8 – 25.1 ± 7.1 J/g/h. El efecto de la temperatura sobre el PC solamente se observó en el día 1 a temperaturas estables y en el día 8 a temperaturas oscilantes. En el primer caso, los valores de PC disminuyeron de 10.9 ± 0.3 J/g/h a 21 °C, a -4.1 ± 2.3 a 28 °C, y en el segundo de 18.1 ± 6.8 J/g/h a 21 ± 2 °C, a 5.6 ± 11.8 J/g/h a 28 ± 2 °C. Las variaciones de PC a temperaturas oscilantes los días 1, 8 y 13 a diferentes tiempos de medición, se presentan en la Tabla XVI. La prueba de Tukey demuestra la gran variabilidad de los valores a diferentes tiempos de medición, especialmente en el día 8, cuando el PC se midió cada tres horas. Estos resultados graficados en la Figura 28, muestran que el PC fue mayor entre menor fue la temperatura. También se observa que el PC varió de manera inversamente proporcional a la temperatura en los tres tratamientos, aunque antes de alcanzar la temperatura máxima, el PC se incrementó moderadamente durante tres a seis horas, luego volvió a declinar y posteriormente se incrementó abruptamente hasta un valor cercano al máximo de ese tratamiento cuando aún descendía la temperatura. Finalmente el PC volvió a declinar o se mantuvo estable durante las tres horas finales del experimento cuando se registraba la temperatura mas baja de la oscilación.

Tabla XV. Tasa de potencial de crecimiento (PC) (J/g/h) de individuos de la almeja mano de león *Nodipecten subnodosus* (67.4 ± 3.1 mm de altura), sometidos a temperaturas estables y oscilantes, al inicio y al final de un periodo de exposición de 13 días. En las temperaturas oscilantes, se muestran los valores medidos en los valles, nodos y crestas de la oscilación térmica. Los valores son la media \pm DE. Letras minúsculas diferentes entre columnas de una misma fila, y letras mayúsculas distintas entre filas de una misma columna indican diferencias significativas ($P < 0.05$). n = 3.

Temperatura estable			Temperatura oscilante			
Tratamiento (°C)	Día de medición		Tratamiento (°C)	Día de medición		
	1	13		1	8	13
21	10.9 ± 0.3^{abB}	6.5 ± 4.5^{aA}	21 ± 2	23.7 ± 5.9^{bA}	18.1 ± 6.8^{abB}	17.4 ± 9.2^{abA}
24	12.1 ± 3.8^{abB}	1.6 ± 6.2^{aA}	24 ± 2	25.1 ± 7.1^{bA}	12.5 ± 7.6^{aB}	11.3 ± 2.8^{aA}
28	-4.1 ± 2.3^{aA}	6.4 ± 4.5^{abcA}	28 ± 2	22.1 ± 7.0^{cA}	5.6 ± 11.8^{abA}	20.4 ± 5.5^{bcA}

Tabla XVI. Potencial de crecimiento (J/g/h) de individuos de la almeja mano de león *Nodipecten subnodosus* (67.4 ± 3.1 mm de altura) sometida a temperaturas oscilantes, medido cada tres horas los días 1, 8 y 13 del experimento. Los valores son la media \pm DE. Letras minúsculas diferentes entre columnas de una misma fila, y letras mayúsculas distintas entre filas de una misma columna indican diferencias significativas ($P < 0.05$). $n = 3$.

Tratamiento (°C)	Tiempo de medición (h)	Temperatura de medición (°C)	Día de medición		
			1	8	13
21 ± 2	0	19	29.0 ± 1.4^{aA}	25.2 ± 8.4^{aGH}	28.9 ± 5.6^{aC}
	3	20	-	17.7 ± 1.5^{EFGH}	-
	6	21	-	15.8 ± 2.7^{bDEFGH}	10.3 ± 2.8^{aA}
	9	22	-	14.0 ± 1.7^{CDEFGH}	-
	12	23	18.5 ± 1.4^{bB}	14.65 ± 3.0^{abDEFGH}	13.0 ± 1.1^{aAB}
	15	22	-	13.2 ± 4.6^{CDEFGH}	-
	18	21	-	27.0 ± 6.6^H	-
	21	20	-	17.3 ± 9.6^{EFGH}	-
24 ± 2	0	22	22.6 ± 4.7^{aA}	22.3 ± 4.7^{aGH}	14.3 ± 2.3^{aAB}
	3	23	-	9.6 ± 6.1^{CDEF}	-
	6	24	-	3.0 ± 3.7^{aBCD}	9.7 ± 2.0^{aA}
	9	25	-	7.8 ± 1.8^{BCDE}	-
	12	26	30.9 ± 3.7^{bA}	11.8 ± 4.5^{aCDEFG}	9.8 ± 1.3^{aA}
	15	25	-	7.4 ± 4.5^{BCDE}	-
	18	24	-	20.0 ± 3.4^{EFGH}	-
	21	23	-	18.3 ± 5.0^{EFGH}	-
28 ± 2	0	26	22.9 ± 7.0^{aA}	16.4 ± 4.1^{aDEFGH}	-
	3	27	-	8.5 ± 3.1^{BCDEF}	-
	6	28	-	-4.7 ± 3.9^{ABF}	-
	9	29	-	0.2 ± 2.5^{BC}	-
	12	30	21.4 ± 8.6^{bA}	2.8 ± 3.6^{aBCD}	20.4 ± 5.5^{bBC}
	15	29	-	-14.8 ± 3.3^A	-
	18	28	-	17.2 ± 4.4^{EFGH}	-
	21	27	-	19.2 ± 1.2^{EFGH}	-

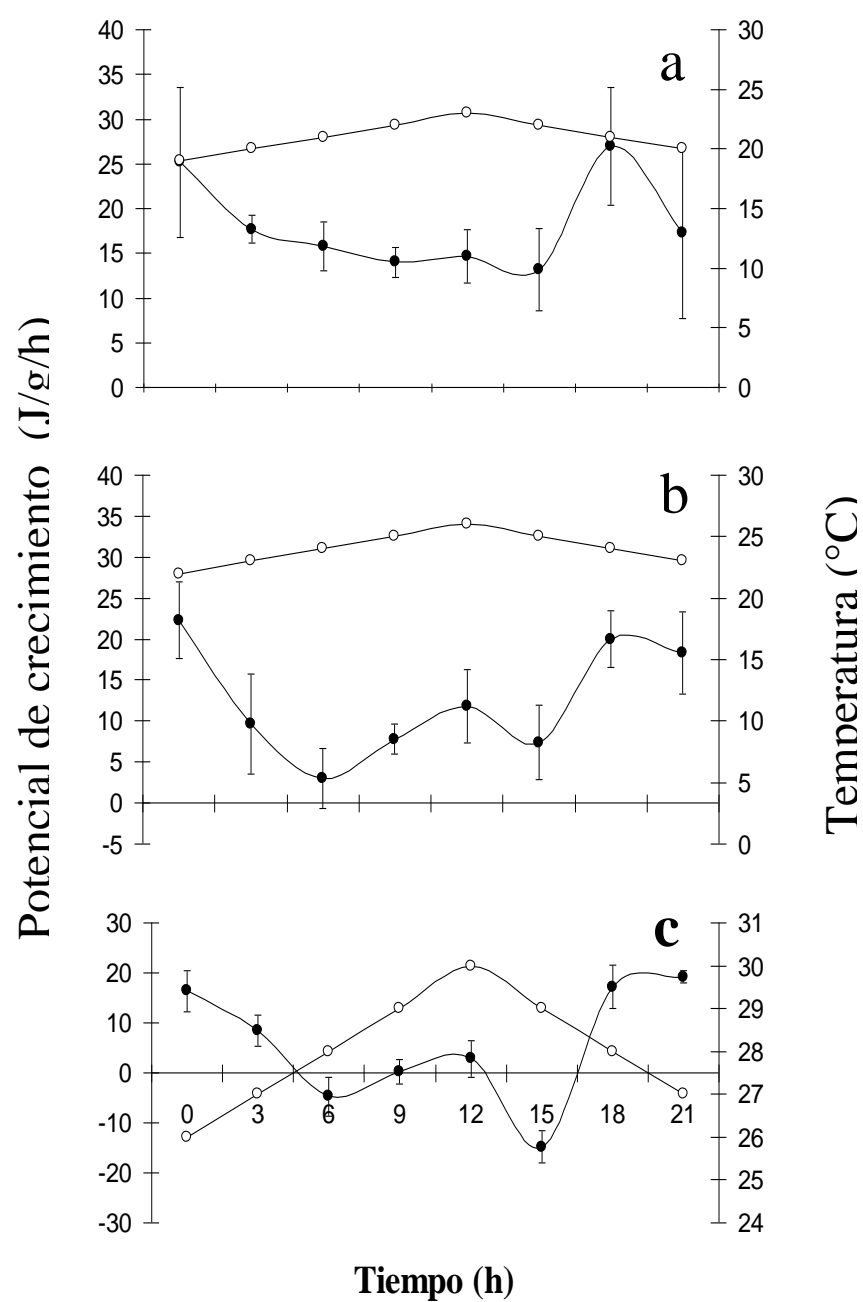


Figura 28. Potencial de crecimiento (●) de la almeja mano de león (67.4 ± 3.1 mm de altura) registrada cada 3 h durante el día 8 del experimento, sometida a los tratamientos oscilantes de temperatura (○) 21 ± 2 °C (a), 24 ± 2 °C (b) y 28 ± 2 °C (c). Los datos son la media \pm DE. $n = 3$

Efecto de los Tratamientos Térmicos Sobre la Talla y el Peso Seco de Tejidos

Al inicio de la etapa experimental, la talla promedio y el peso seco de tejidos de los organismos fue de 67.4 ± 3.2 mm y 2.5 ± 0.5 g respectivamente ($n = 54$). Al finalizar el experimento, no se encontraron diferencias ($P > 0.05$) en talla ni en peso seco de tejidos de las almejas de los distintos tratamientos de un mismo régimen (estable u oscilante). Sin embargo, cuando se compararon los promedios de altura de la concha (Figura 29) y de peso seco de tejido (Figura 30) de todos los organismos a temperaturas estables contra los oscilantes, se encontró que no existieron diferencias significativas en altura, pero sí en el peso seco de tejidos ($P < 0.01$), siendo mayores en los tratamientos oscilantes que en los estables.

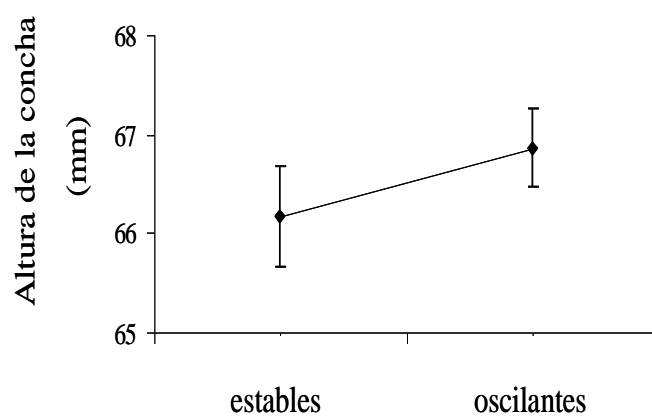


Figura 29. Altura final promedio de la concha de almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*) sometida a tres tratamientos de temperatura estable y oscilante durante 13 días de experimentación. Los valores representan la media \pm DE. $n = 18$

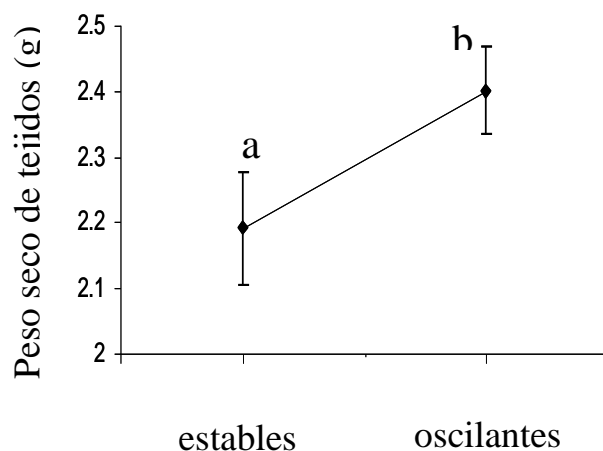


Figura 30. Peso seco de tejidos final de almeja mano de león (*Nodpiecten subnodosus*) sometida a tres tratamientos de temperatura estable y oscilante durante 13 días. Las letras indican diferencias significativas ($P < 0.01$). Los valores representan la media \pm DE. ($n = 18$).

Supervivencia

La supervivencia registrada en cada tanque y etapa del experimento (pre-aclimatación, aclimatación y experimental) se presenta en las Figuras 31, 32 y 33 respectivamente. Al final del periodo de pre-aclimatación la supervivencia se mantuvo cercana a 90% en la mayoría de los tanques. La supervivencia en los tanques 4 y 6 del laboratorio 1 fue de 57.3 y 82.5 % respectivamente. Durante el periodo de aclimatación, los valores más bajos (40.0 y 63.7 %) se obtuvieron en el tratamiento estable 28 °C. A temperaturas oscilantes, los valores mas bajos (71.7 y 72.0 %) se registraron en el tratamiento 28 ± 2 °C. La supervivencia tuvo valores cercanos a 90% en los tratamientos 24 °C y 24 ± 2 °C, mientras que ésta fue mayor al 90 % en los tratamientos mas fríos (21 °C y 21 ± 2 °C).

°C). Durante el periodo experimental, el menor valor de supervivencia (7.8%), se presentó en tratamiento oscilante 28 ± 2 °C, seguido por el tratamiento estable 28 °C con 41.6 %. Nuevamente, se obtuvieron valores intermedios en los tratamientos 24 °C y 24 ± 2 °C con 80.9 y 78.2% y los valores más altos en los tratamientos 21°C y 21 ± 2 °C con 94.2 y 95.7 %.

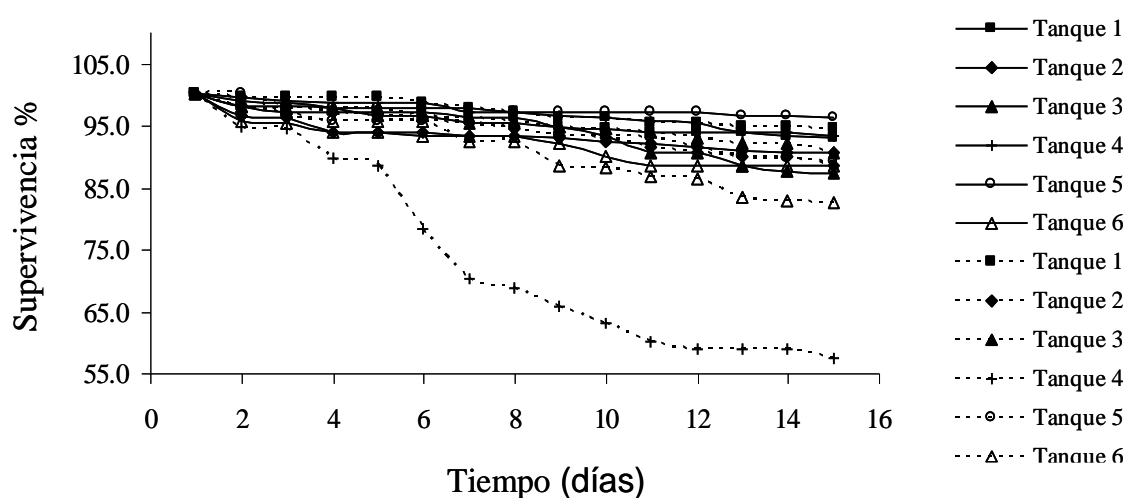


Figura 31. Supervivencia de la almeja mano de león (*Nodipecten subnososus*) durante la etapa de pre-aclimatación. Las líneas punteadas indican los tanques mantenidos en el laboratorio 1 a temperatura estable y las líneas continuas los tanques del laboratorio 2 controlados con el SITMA.

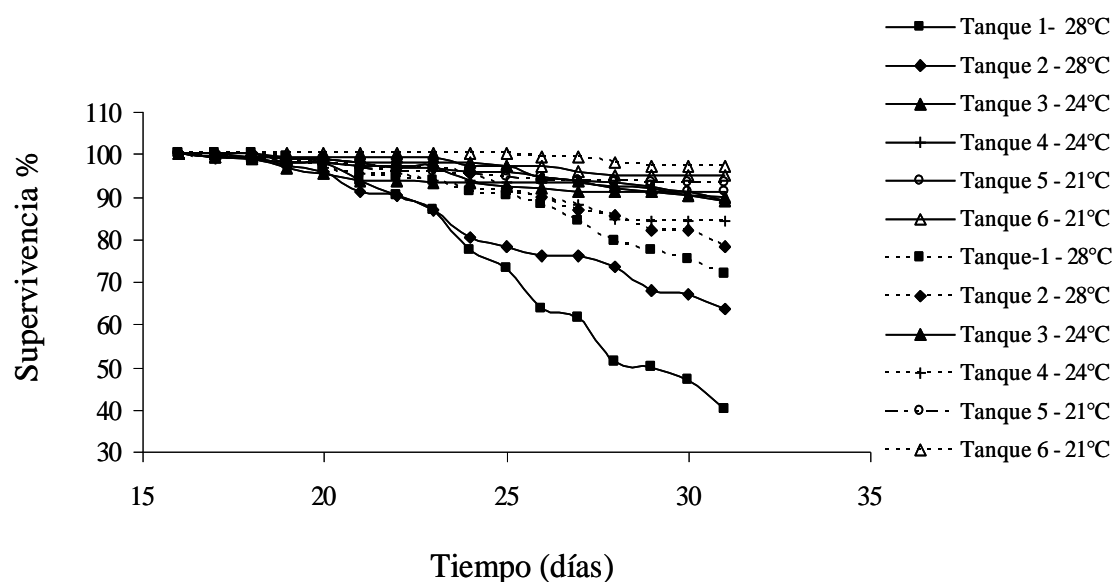


Figura 32. Supervivencia de la almeja mano de león (*Nodipecten subnososus*) durante la etapa de aclimatación. Las líneas punteadas indican los tanques mantenidos en el laboratorio 1 a temperatura estable y las líneas continuas los del laboratorio 2 controlados con el SITMA.

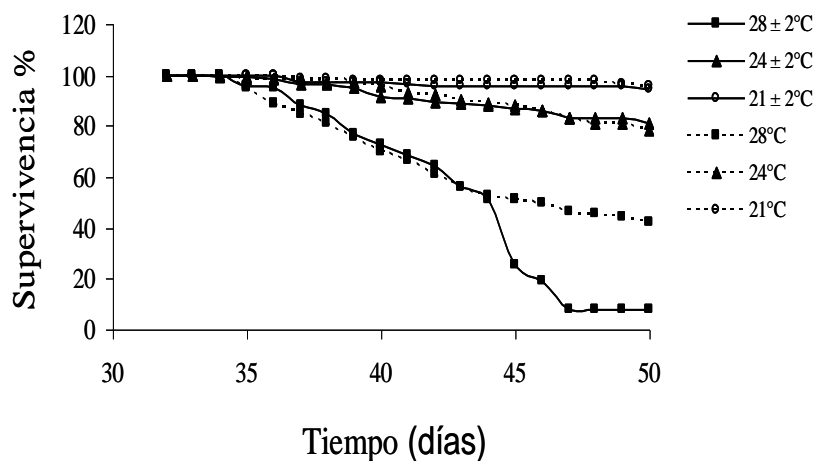


Figura 33. Supervivencia de la almeja mano de león (*Nodipecten subnososus*) durante la etapa experimental. Las líneas punteadas indican los tanques mantenidos en el laboratorio 1 a temperatura estable y las líneas continuas los del laboratorio 2 a temperatura oscilante.

DISCUSIÓN

En el presente trabajo, se hicieron un total de 43 determinaciones de potencial de crecimiento, 6 a temperatura estable y 37 a temperaturas oscilantes a tres niveles térmicos, para comparar su efecto en la fisiología de la almeja mano de león. Los resultados mostraron que a temperatura variable, la energía disponible para crecimiento y reproducción fue mayor, lo cual se comprobó con un mayor crecimiento en biomasa. El promedio general de PC a temperaturas estables fue de solamente la tercera parte (5.6 J/g/h) del PC a temperaturas oscilantes (17.2 J/g/h) (Tabla XVII). Estos resultados son contrarios a la hipótesis del presente trabajo, en donde se planteó que la temperatura oscilante demandaría mayor cantidad de energía por las compensaciones necesarias para alcanzar la homeostasis. A pesar de que este fenómeno ya había sido parcialmente descrito en otros organismos (Windows, 1976; Diana, 1984; Sánchez *et al.*, 1984; Pilditch y Grant, 1999), los estudios son muy escasos y poco conocidos por la comunidad científica y no han sido aplicados en la acuicultura. En esta industria, los procesos de producción de juveniles incluyendo la maduración reproductiva de los progenitores y el cultivo de larvas y juveniles se realizan a temperatura estable. Adicionalmente, estos resultados demuestran que aunque los estudios realizados sobre efecto de la temperatura en el crecimiento y el metabolismo de organismos poiquiloterms a temperaturas estables presentan una utilidad en el conocimiento del marco ambiental de las especies, deben complementarse con estudios realizados a temperaturas oscilantes.

Estos resultados fueron obtenidos gracias a la disponibilidad combinada del SITMA con el sistema de cámaras de flujo continuo construidas para este trabajo. El SITMA

mantuvo las oscilaciones térmicas buscadas a largo plazo y el sistema de cámaras permitió hacer estimaciones discretas de absorción de energía y de pérdidas por respiración y excreción nitrogenada de manera simple. Sin embargo, este último sistema requiere ser perfeccionado para poder medir el potencial de crecimiento de manera continua. Para ello es necesario incorporar la capacidad de medir las concentraciones de partículas y de amonio de manera continua y la posibilidad de remover las heces y pseudoheces de las cámaras para el cálculo de eficiencia de absorción sin interrumpir el experimento. Para la medición continua de partículas podría emplearse un fluorímetro en línea y para la determinación de amonio posiblemente se podría adaptar un sistema de inyección de flujo FIA, como el descrito por Hunter y Uglow (1993).

El efecto del nivel térmico sobre las tasas fisiológicas, solamente se detectó en el día 1 a temperaturas estables y en el día 8 de las oscilantes. La falta de claridad en los resultados de los días 1 y 13, se explica por la falta de muestreos. En el día 8 cuando se muestreó cada tres horas, las tasas fisiológicas presentaron grandes variaciones entre horas de medición. La influencia de la temperatura sobre el potencial de crecimiento a temperaturas oscilantes se muestra en la Figura 34. En esta figura se graficaron todos los resultados a temperaturas oscilantes independientemente del tratamiento térmico. Aunque los coeficientes de correlación no fueron significativos, las tendencias indican la caída del potencial de crecimiento con la temperatura, como resultado del decremento de la tasa de absorción y del incremento en la tasa respiratoria y de excreción, conforme aumentó la temperatura.

Para explicar el incremento del PC por la temperatura oscilante, es necesario primeramente analizar las tasas fisiológicas estimadas. En la Tabla XVII, se presenta el

promedio de todas las mediciones de PC y de las tasas fisiológicas en valores absolutos (J/g/h) y porcentuales, registrados a temperaturas estables y oscilantes en los diferentes días de medición. Se observó que la absorción fue el componente de la ecuación más importante, seguida por la respiración y una mínima contribución de la excreción nitrogenada. La energía absorbida representó el 58.1 % de la energía (21.7 J/g/h) a temperaturas estables, mientras que a temperaturas oscilantes fue de 67.0 % (33.1 J/g/h). En contraste, los gastos de energía por respiración y excreción amoniacal en términos absolutos fueron muy similares en ambos regímenes térmicos (Tabla XVII). Sin embargo, en términos porcentuales, la respiración bajó del 40.0 % de la energía gastada a temperaturas estables (15.4 J/g/h), al 33.5 % a temperaturas oscilantes (13.9 J/g/h). También la excreción nitrogenada presentó un descenso de 1.9% a temperaturas estables

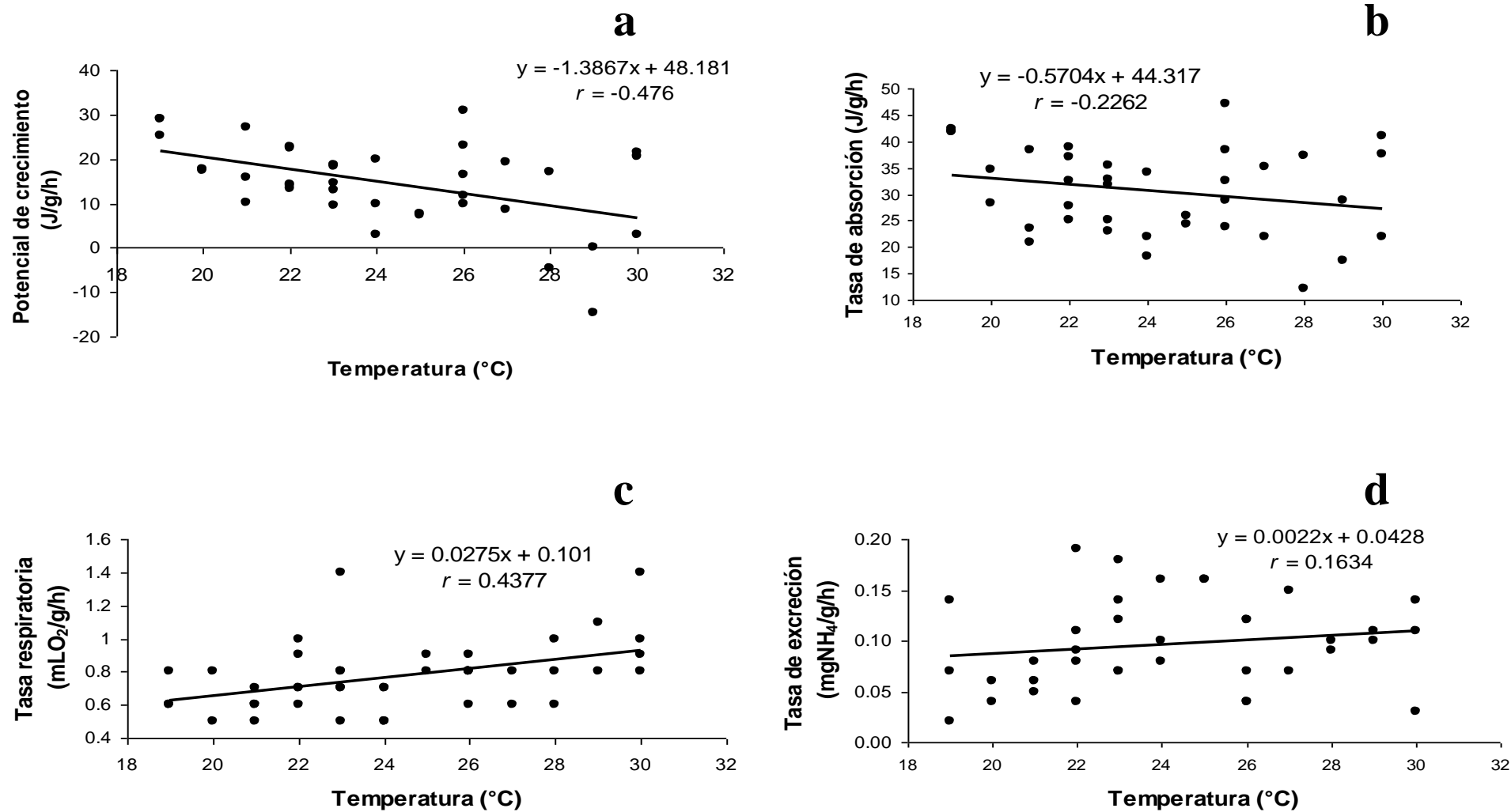


Figura 34. Correlación del potencial de crecimiento (a), tasa de absorción (b), tasa respiratoria (c) y tasa de excreción (d) con la temperatura, en la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*) expuesta a condiciones oscilantes de temperatura.

Tabla XVII. Potencial de crecimiento (PC) y promedios de las tasas fisiológicas en valores absolutos y porcentuales, registradas a temperaturas estables y oscilantes a diferentes días de medición. En negritas se muestra el promedio general del PC y de las tasas fisiológicas de todos los valores a temperaturas estables y a temperaturas oscilantes.

Día de medición	Tratamiento	Potencial de crecimiento	Tasa de absorción	Tasa respiratoria	Tasa de excreción	Tasa de absorción	Tasa respiratoria	Tasa de excreción
	(°C)	(J/g/h)	(J/g/h)	(J/g/h)	(J/g/h)	(%)	(%)	(%)
1	21	10.9	21.9	10.7	0.3	66.6	32.6	0.8
	24	12.1	23.6	11.3	0.3	67.2	32.0	0.8
	28	-4.1	21.0	24.6	0.6	45.5	53.3	1.2
13	21	6.5	21.3	13.7	1.1	59.0	37.9	3.1
	24	1.6	19.7	17.4	0.6	52.1	46.2	1.6
	28	6.4	22.5	14.6	1.5	58.4	37.8	3.9
Promedio		5.6	21.7	15.4	0.7	58.1	40.0	1.9
1	21 ± 2	23.7	38.7	14.4	0.6	72.0	26.9	1.1
	24 ± 2	25.1	43.0	17.6	0.3	70.5	29.1	0.5
	28 ± 2	22.3	39.7	17.0	0.3	69.7	29.7	0.6
8	21 ± 2	16.8	32.1	14.7	0.5	67.6	31.3	1.1
	24 ± 2	12.5	28.3	14.9	0.9	63.6	34.3	2.1
	28 ± 2	5.6	25.9	19.6	0.7	56.0	42.2	1.7
13	21 ± 2	17.4	28.6	10.4	0.8	70.8	27.1	2.1
	24 ± 2	11.1	24.5	12.0	1.3	64.6	31.9	3.5
	28 ± 2	19.9	37.5	16.1	1.5	68.0	29.2	2.7
Promedio		17.2	33.1	15.2	0.8	67.0	31.3	1.7

a 1.7 % a condiciones oscilantes. Por lo tanto, la mayor eficiencia del organismo para adquirir más energía a un costo similar, fue resultado de una mayor tasa de ingestión, la cual en estos experimentos fue equivalente a la tasa de filtración al no haberse producido pseudoheces. Las tasas de ingestión promedio generales calculadas a partir de la Tabla VII, indican que los organismos sometidos a temperaturas oscilantes ingieren 24% más alimento (6.4×10^7 céls/g/h), que los mantenidos a temperaturas estables (4.9×10^7 céls/g/h). El incremento de la filtración por las temperaturas variables posiblemente se deba a la estimulación de centros nerviosos controladores de la actividad ciliar del ctenidio. Wildish y Saulnier (1993), modelaron este tipo de cambios en las tasas de filtración en respuesta a variables ambientales, implicando un control fisiológico central (sistema nervioso) para favorecer el balance energético. Sin embargo, éste es un tema que debería ser investigado, no sólo por el interés científico sino por su impacto en la acuicultura. Por ejemplo, para la producción de juveniles de moluscos, se requieren largos y costosos periodos de maduración de reproductores. Para ello es necesario proveerles de alimento (microalgas cultivadas) y agua marina de calidad durante varias semanas y por lo tanto, entre menor sea el tiempo para madurarlos, menor será el costo. Derivado del presente trabajo, se ha encontrado que a condiciones oscilantes ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) *N. subnodosus* produce ovocitos maduros en 15 días en lugar de 30 días a temperatura estable (22°C) (Maeda-Martínez y López-Sánchez, 2006). No se conoce el efecto de la oscilación térmica en el cultivo de larvas y juveniles.

CONCLUSIONES

- La disponibilidad y capacidad del SITMA y del sistema de cámaras de flujo continuo construidas para este trabajo, permitieron hacer estimaciones discretas de absorción de energía y de pérdidas por respiración y excreción nitrogenada de manera simple.
- A temperatura variable, la energía potencial de crecimiento y reproducción fue mayor.
- La absorción fue el componente más importante, seguido de la respiración y como mínima contribución la excreción nitrogenada.
- Los organismos sometidos a temperaturas oscilantes ingieren 24% más alimento, que los mantenidos a temperaturas estables.
- Los organismos sometidos a condiciones de temperatura variable incrementaron su capacidad reproductiva en relación a los organismos estables, particularmente en el tratamiento de $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- La supervivencia fue mayor para los organismos mantenidos a temperatura variable aún con los eventos reproductivos observados, a excepción del tratamiento de $28 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

CAPITULO 4

EFFECTO DE LA TEMPERATURA OSCILANTE EN LA CONDICIÓN DE LA ALMEJA MANO DE LEÓN (*Nodipecten subnodosus*)

ANTECEDENTES

La condición se define como la cantidad de reservas de energía disponibles en un organismo (Ferron y Leggett, 1994) y el análisis de los combustibles metabólicos es una herramienta muy poderosa para determinarla. Las moléculas energéticas son recibidas a través del alimento y movilizadas para su utilización o almacenamiento. Estos compuestos se utilizan como fuentes de energía para el mantenimiento corporal, movimiento, crecimiento y reproducción. El análisis de los combustibles metabólicos es, por lo tanto, un reflejo del proceso global de obtención y utilización de energía en el organismo (Newsholme y Leech, 1983; Lehninger, 1988). Dentro de los combustibles metabólicos más importantes están los carbohidratos, proteínas y lípidos. Los carbohidratos son un almacén de energía importante ya que tienen la ventaja de ser rápidamente movilizables y representan un combustible utilizable anaeróbicamente para ciertos tejidos que pueden funcionar bajo condiciones anaerobias o que carecen, parcial o totalmente, de capacidad oxidativa aeróbica. Dentro de ellos, el glucógeno es un polisacárido ramificado de los animales que proporciona un reservorio de glucosa fácil de movilizar (Lehninger, 1978). Las proteínas son polímeros de aminoácidos con amplia variabilidad estructural y funciones biológicas muy diversas. Pueden constituir un reservorio de energía, donde el combustible circulante son los aminoácidos los cuales son obtenidos de la dieta o por hidrólisis de las proteínas. De manera general, el metabolismo de aminoácidos ocurre en el tejido hepático, el grupo amino de los aminoácidos excedentes es eliminado dando un desecho nitrogenado y un cetoácido

como intermediario metabólico, el cual puede ser oxidado hasta CO_2 aprovechando su valor calórico o bien se convierten en glucosa o en ácidos grasos para su utilización o posterior almacenamiento en glucógeno y triglicéridos respectivamente (Strayer, 1976). Los lípidos son biomoléculas orgánicas formadas básicamente por carbono e hidrógeno y generalmente también oxígeno, pero en porcentajes mucho más bajos. Pueden contener además fósforo, nitrógeno y azufre. Son moléculas muy heterogéneas insolubles en el agua y pueden extraerse de las células y los tejidos mediante disolventes no polares (Lehninger, 1978). Son una fuente concentrada de energía y al mismo tiempo reservorio de ésta, por lo que juegan un papel muy importante para los organismos. Intervienen en el mantenimiento de estructuras y tejidos celulares y son integrantes de toda membrana celular, además de ser vehículo de vitaminas liposolubles como la A, D, E y K y precursores de algunas hormonas (Strayer, 1976; Newholme y Leech, 1983). Los combustibles lipídicos circulantes en los animales se presentan en tres formas: triglicéridos, ácidos grasos libres y cuerpos cetónicos, siendo particularmente importantes los dos primeros. Los lípidos se depositan en las células como triglicéridos, los cuales constituyen la principal reserva de energía química en muchos animales. Son ésteres de ácidos grasos con un glicerol y representan la forma de reserva de los ácidos grasos libres. Proviene de la dieta o son sintetizados a partir de acetil coenzima-A que deriva del lactato, aminoácidos o glucosa. Estas sustancias son depósitos muy concentrados de energía metabólica, contienen seis veces más energía que los carbohidratos y las proteínas en el cúmulo de reservas energéticas (Newholme y Leech, 1983). El colesterol es un esteroide del grupo de los esteroides y aunque no es un combustible metabólico, tiene varios papeles importantes y es indispensable en el buen desarrollo del organismo. Es un alcohol esteroide que contiene un grupo hidroxilo en el carbono 3 del anillo A y una cadena ramificada de ocho átomos de carbono en el

carbono 17. Es un precursor de muchos esteroides como los ácidos biliares, hormonas esteroides –hormonas sexuales y del control de la muda en crustáceos e insectos (Aguirre, 1990). También es un componente estructural importante de las membranas de muchas células animales, donde se fija entre las cadenas hidrocarbonadas de fosfolípidos (Newholme y Leech, 1983) y junto con ellos actúa en la flexibilidad y algunas funciones de las membranas celulares (como transporte y permeabilidad), así como en la activación de enzimas unidas a las membranas (Cortés-Jacinto, 1993). El colesterol también juega un papel importante en la absorción de triglicéridos del intestino y su transporte a plasma (Aguirre, 1990).

La evaluación de la condición ha sido comúnmente utilizada como soporte de numerosas investigaciones en pectínidos. La mayoría de estas se centran en evaluar el efecto de la alimentación, la influencia de factores como la temperatura, salinidad, tensión de oxígeno, etc., en el establecimiento de condiciones óptimas de cultivo, la evaluación de efectos genéticos y eventos reproductivos. En los bivalvos existe una relación muy clara entre el ciclo reproductor y el almacenamiento de reservas energéticas, por lo que la concentración de estas sustancias varía dependiendo de la fase del ciclo gonádico en que se encuentren los organismos (Arellano-Martínez, en preparación). Los estudios que se han realizado en torno al ciclo reproductor y de almacenamiento de reservas energéticas actualmente son numerosos y Barber y Blake (1991) realizaron una revisión detallada al respecto.

En el género *Nodipecten* los estudios sobre almacenamiento de reservas energéticas y el ciclo reproductor son pocos y muy recientes. Román *et al.* (2001) reportaron estudios existentes sobre la reproducción de *Nodipecten nodosus* y *N. subnodosus*. Racotta *et al.*,

(2003), Arellano-Martínez *et al.* (2004b) y Maguiño (2006), han realizado estudios detallados sobre transferencias energéticas durante la reproducción de *N. subnodosus*.

Existen diversos factores que ejercen un control sobre los ciclos de almacenamiento de reservas y el ciclo reproductor, incluyendo factores endógenos (edad, talla, factores genéticos, estados de salud, etc.) y exógenos (temperatura, la disponibilidad de alimento, parásitos, enfermedades, el fotoperiodo, etc.). Particularmente, la temperatura es uno de los más importantes en la regulación de los ciclos gametogénicos y almacenamiento de reservas energéticas en los moluscos (Giese, 1959; Sastry, 1975; Mann, 1979; Giese y Kanatani, 1987; Wada *et al.*, 1995). Arellano-Martínez *et al.* (2004a), reportaron que la reproducción de *N. subnodosus* muestra una estacionalidad relacionada con la temperatura del agua en la Laguna Ojo de Liebre. El periodo de inactividad reproductiva y baja condición se presenta de diciembre a marzo cuando la temperatura del agua varía de los 16 a los 17.5°C. El inicio de almacenamiento de reservas y la gametogénesis se inicia en abril, cuando la temperatura del agua alcanza 18°C y continúa durante los meses cálidos. La mayor condición y el mayor porcentaje de individuos maduros (90 a 100%) se registran en agosto, cuando la temperatura asciende a los 23°C. El desove inicia en septiembre cuando la temperatura del agua declina, y éste continúa hasta noviembre a medida que la temperatura disminuye.

Bayne (1976b) observó y describió distintas estrategias reproductivas en relación al ciclo de almacenamiento y utilización de energía en bivalvos. Freitas *et al.* (2003) mencionan que *N. nodosus* es un estratega oportunista, ya que utiliza la energía del alimento en el ciclo gametogénico. Sin embargo, cuando las condiciones del medio son desfavorables (temperatura alta y baja concentración o calidad de alimento) el

organismo transfiere las reservas energéticas del músculo, glándula digestiva y manto hacia la gónada (estrategia conservadora). El músculo abductor es el principal tejido de reserva energética en pectínidos (Barber y Blake, 1991; Román *et al.* 2001). La movilización de reservas hacia la gónada ha sido demostrada en varias especies por la disminución en el índice muscular y el incremento en el índice gonádico (Barber y Blake, 1986). La glándula digestiva también juega un papel como almacén de reservas energéticas y su importancia es mayor a corto plazo (Barber y Blake 1986). Se ha determinado que las reservas del manto son empleadas en el mantenimiento de la gametogénesis en algunos moluscos (Martínez, 1991; Couturier y Newkirk 1991) y en *Nodipecten* (Lodeiros *et al.*, 2001b; Roldán-Carrillo, 2001; Racotta *et al.*, 2003; Arellano-Martínez *et al.* 2004b).

OBJETIVO

Determinar el efecto de la temperatura oscilante sobre la condición de la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*).

MÉTODOS

Obtención y Preservación de Tejidos

Los organismos congelados a -80°C se disectaron para separar el músculo abductor, la gónada, el manto y la glándula digestiva. Previamente, las conchas se midieron con un vernier digital Stainless y se pesaron con y sin concha. La separación de los órganos se

realizó sobre una charola de disección para evitar la hidrólisis de los tejidos (Palacios, 1999). Esta charola consiste en un recipiente de plástico de 4 cm de profundidad llenado con agua, tapado con una lámina de aluminio de 4 mm grosor y congelada a -80°C previo a las disecciones. Cada órgano fue pesado por separado en una balanza digital (Precisa XT 320M), y se tomaron muestras en tubos eppendorf de 1.5 ml (etiquetados previamente) para ser preservadas a -80°C para los diferentes análisis.

Se practicaron análisis bioquímicos para determinar las reservas energéticas y moléculas estructurales en almejas sometidas a oscilaciones térmicas y a temperatura constante. Una vez determinado el balance energético, las almejas fueron transferidas a un tanque de 80L con nitrógeno líquido (-200°C) y finalmente se preservaron en un ultracongelador So-Low Fisher (U85-25) a -80°C para su análisis posterior.

Determinación y Almacenamiento de Sustancias de Reserva

Los tejidos congelados fueron liofilizados en una liofilizadora Virtis (modelo 249193) de 5 L de capacidad. Las muestras fueron preservadas para obtener los extractos crudos siguiendo los procedimientos indicados en las Figuras 35, 36 y 37 para músculo y gónada, manto y glándula digestiva respectivamente.

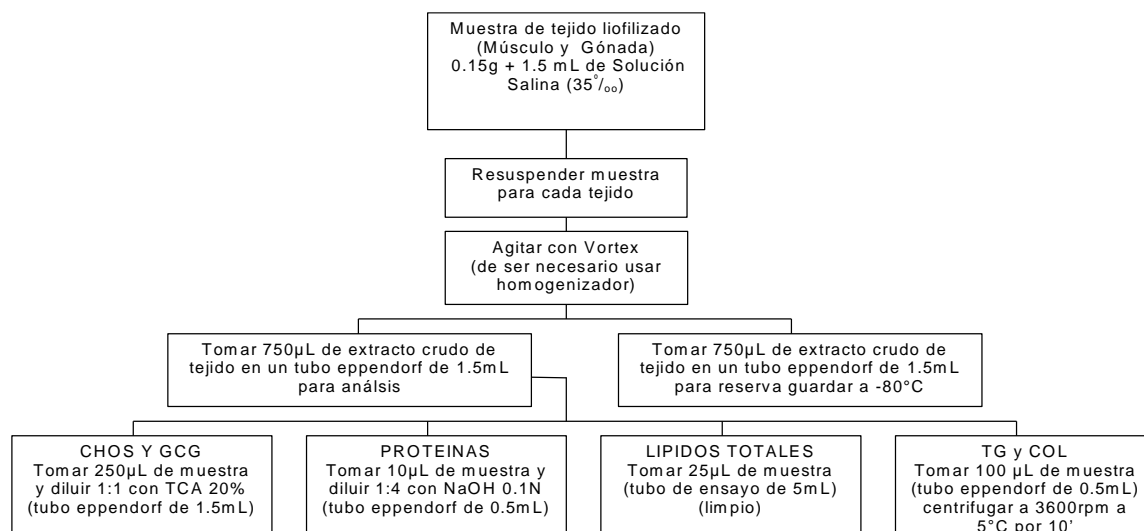


Figura 35. Procedimiento para el procesamiento de muestras de tejidos de músculo y gónada de *Nodipecten subnodosus* para análisis bioquímicos de proteínas, lípidos totales, carbohidratos (CHOS), glucógeno (GCG), triglicéridos (TG) y colesterol (COL).

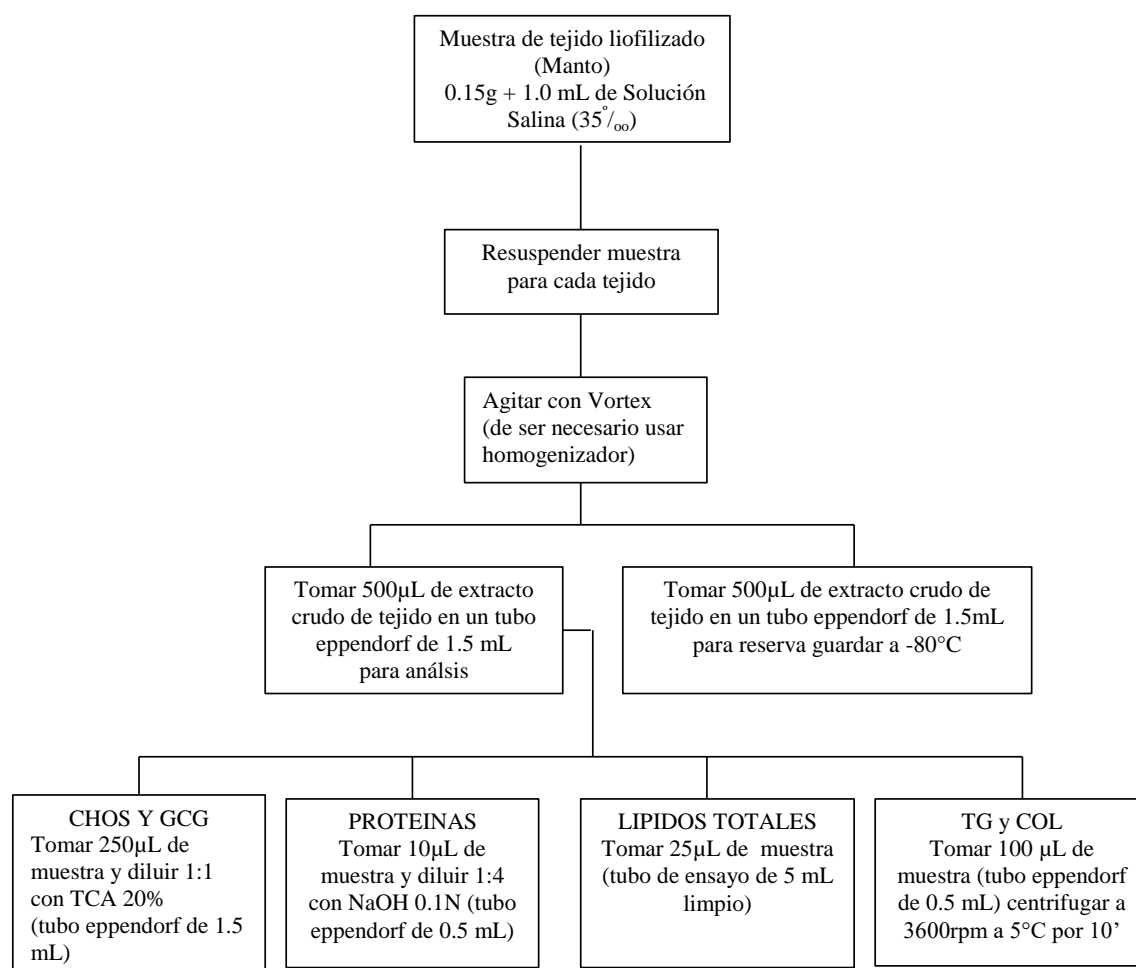


Figura 36. Procedimiento para el procesamiento de muestras de manto de *Nodipecten subnodosus* para análisis bioquímicos de proteínas, lípidos totales, carbohidratos (CHOS), glucógeno (GCG), triglicéridos (TG) y colesterol (COL).

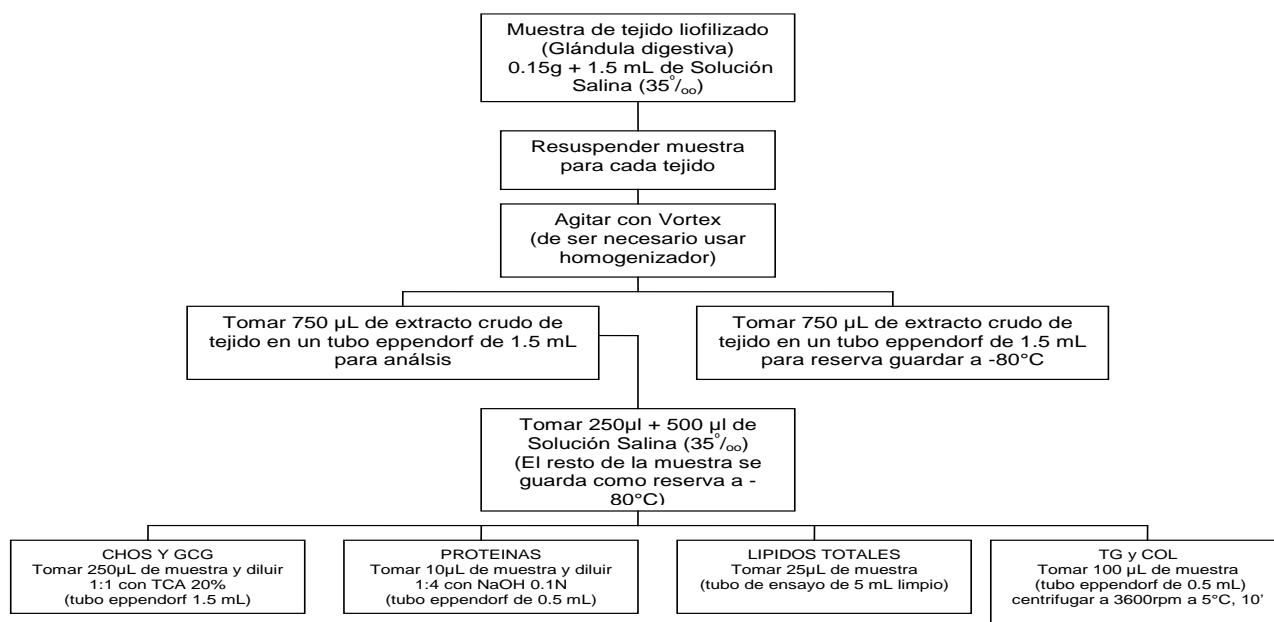


Figura 37. Procedimiento para el procesamiento de muestras de glándula digestiva de *Nodipecten subnodosus* para análisis bioquímicos de proteínas, lípidos totales, carbohidratos (CHOS), glucógeno (GCG), triglicéridos (TG) y colesterol (COL).

Carbohidratos totales

La determinación de carbohidratos totales y glucógeno se realizó utilizando la modificación al método Antrona (Roe, 1954) propuesta por Van-Handel, (1965) (Figura 38). Este método se basa en hidrolizar los enlaces glucosídicos de los polisacáridos y disacáridos para convertirlos en monosacáridos, los cuales reaccionan con el compuesto de antrona para dar una coloración que puede variar de color verde a negro, dependiendo de la cantidad de carbohidratos presentes en la muestra. Las muestras se leen en un espectrofotómetro a 630 nm. Debido a la alta interferencia que presenta el método con la proteínas presentes en las muestras, es necesario realizar una precipitación previa con TCA al 20%, centrifugar a 3, 600 rpm a 10°C por 15 minutos y

trabajar con el sobrenadante obtenido. La concentración absoluta de carbohidratos se obtuvo al comparar los resultados de absorbancia, contra los de una curva tipo preparada a partir de una solución de dextrosa de 10 mg/mL, diluida en solución salina a concentraciones de 0.1562, 0.3125, .625, 1.25 2.5, 5.0 y 10.0 mg/mL. Los cálculos para obtener la cantidad de carbohidratos y glucógeno se hicieron como se indica en la Tabla XVIII.

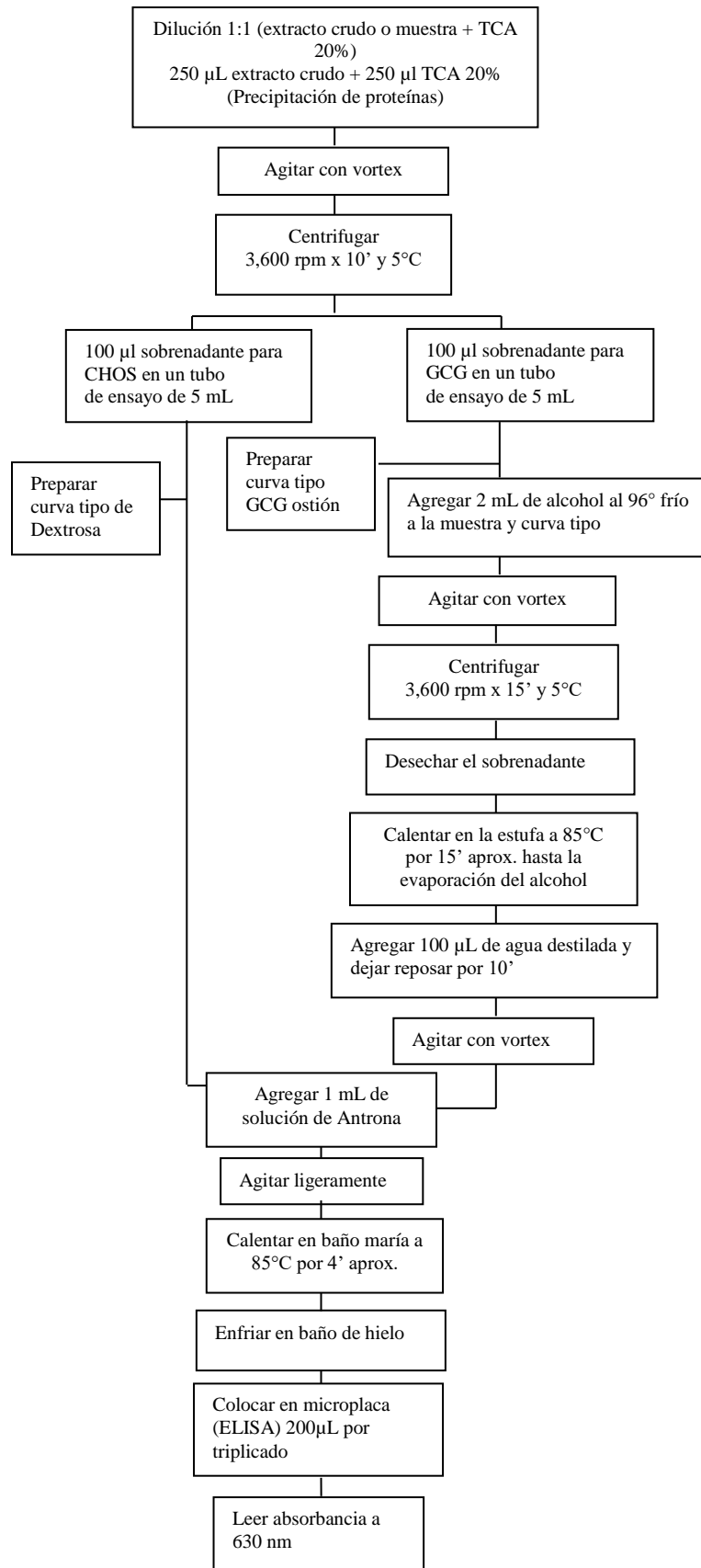


Figura 38. Procedimiento para determinación de carbohidratos (CHOS) y glucógeno (GC) en tejidos de *Nodipecten subnodosus*, utilizando la modificación al método de Antrona propuesta por Van-Handel (1965).

TABLA XVIII

Cálculos empleados para la determinación de moléculas en los diferentes tejidos de *Nodipecten subnodosus*

Moléculas (mg/g)	Fórmula
Carbohidratos	$= (A \times FD \times 2) / (m \times P)$
Glucógeno	$= (A \times FD \times 2) / (m \times P)$
Proteínas	$= (A \times FD \times 5^*) / (m \times P)$
Lípidos totales	$= (A \times FD) / (m \times P)$
Triglicéridos	$= (A \times FD) / (m \times P)$
Colesterol	$= (A \times FD) / (m \times P)$

Donde:

A = absorbancia del problema – absorbancia del blanco de la curva tipo
FD = factor de dilución de cada tejido: músculo y gónada 1.5, manto 1 y glándula digestiva 6.
m = pendiente de la curva tipo
P = peso seco de tejido liofilizado * 10 para el caso de músculo

Glucógeno

La determinación de glucógeno se realizó utilizando el método de antrona (Van-Handel, 1965) de la misma forma que para la determinación de los carbohidratos (Figura 38) pero precipitando en primera instancia el glucógeno presente en la muestra con etanol por medio de centrifugación. Al glucógeno precipitado se le agregó la solución de Antrona a 80°C para provocar la reacción anteriormente descrita. La concentración absoluta de glucógeno se obtuvo al comparar los resultados de absorbancia con una

curva tipo preparada a partir de una solución de glucógeno de ostión al 2.5 mg/mL, diluída en solución salina a concentraciones de 0.08, 0.16, 0.31, 0.63 y 1.25 mg/mL. Los cálculos empleados para obtener la cantidad de glucógeno se realizaron como se indica en la Tabla XVIII.

Proteínas

Las proteínas de los tejidos fueron determinadas utilizando el método de Bradford (1976) (Figura 39). El fundamento de esta técnica se basa en la reacción de los grupos amino libres con el reactivo de Bradford (colorante azul de Cromassie, ácido fosfórico y metanol, Bio-Rad, No. Cat. 500-0006). El complejo azul formado es directamente proporcional a la concentración de la proteína en la muestra y puede leerse desde 465 a 595 nm. La concentración absoluta de proteínas en los tejidos fue determinada comparando los resultados con una curva tipo elaborada a partir de una solución estándar de albúmina de suero bovino a una concentración de 5mg/ml. La solución se diluyó en solución salina hasta obtener concentraciones de 0.16, 0.31, 0.63, 1.25, 2.50 y 5.00 mg/mL. Los cálculos para la determinación de proteínas se realizaron según se indica en la Tabla XVIII.

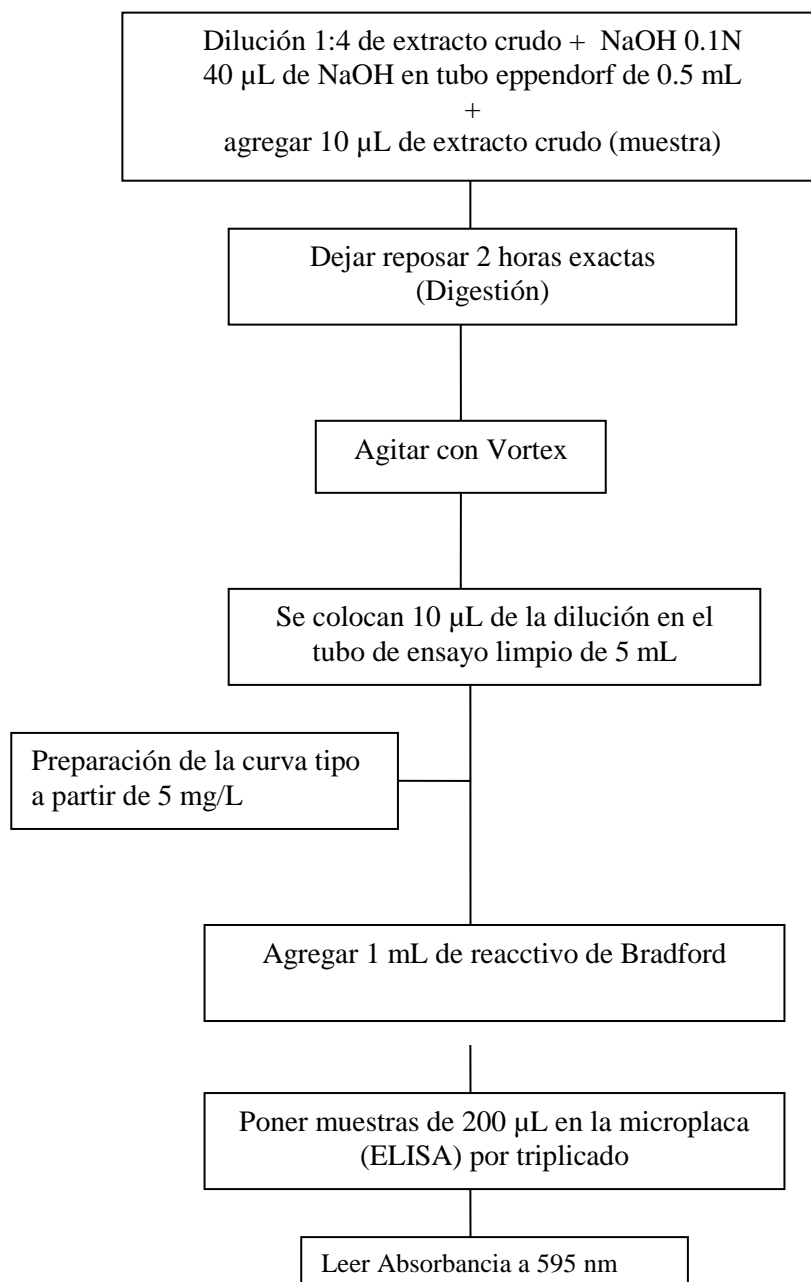


Figura 39. Procedimiento para la determinación de proteínas en tejidos de almeja mano de león utilizando la técnica de Bradford (1976).

Lípidos totales

La determinación de lípidos totales se realizó utilizando el paquete comercial de Merck (método 3321) que emplea el método de Barnes y Blackstock (1973) (Figura 40). Este se basa en la reacción de los lípidos con el reactivo fosfovainillina y el ácido sulfúrico para dar un complejo de color rosa. La intensidad de este color es proporcional a la concentración de lípidos en la muestra y es susceptible de leerse a una absorbancia de 540 nm. La concentración de lípidos totales se obtiene a partir de la elaboración de una curva patrón a diferentes concentraciones 0.16, 0.31, 0.63, 1.25, 2.50 y 5.00 mg/L de lípidos, elaborada a partir de diluciones de la solución estándar de 10 mg/L incluida en el kit mencionado. Los cálculos para la determinación de los lípidos totales se hicieron como se indica en la Tabla XVIII.

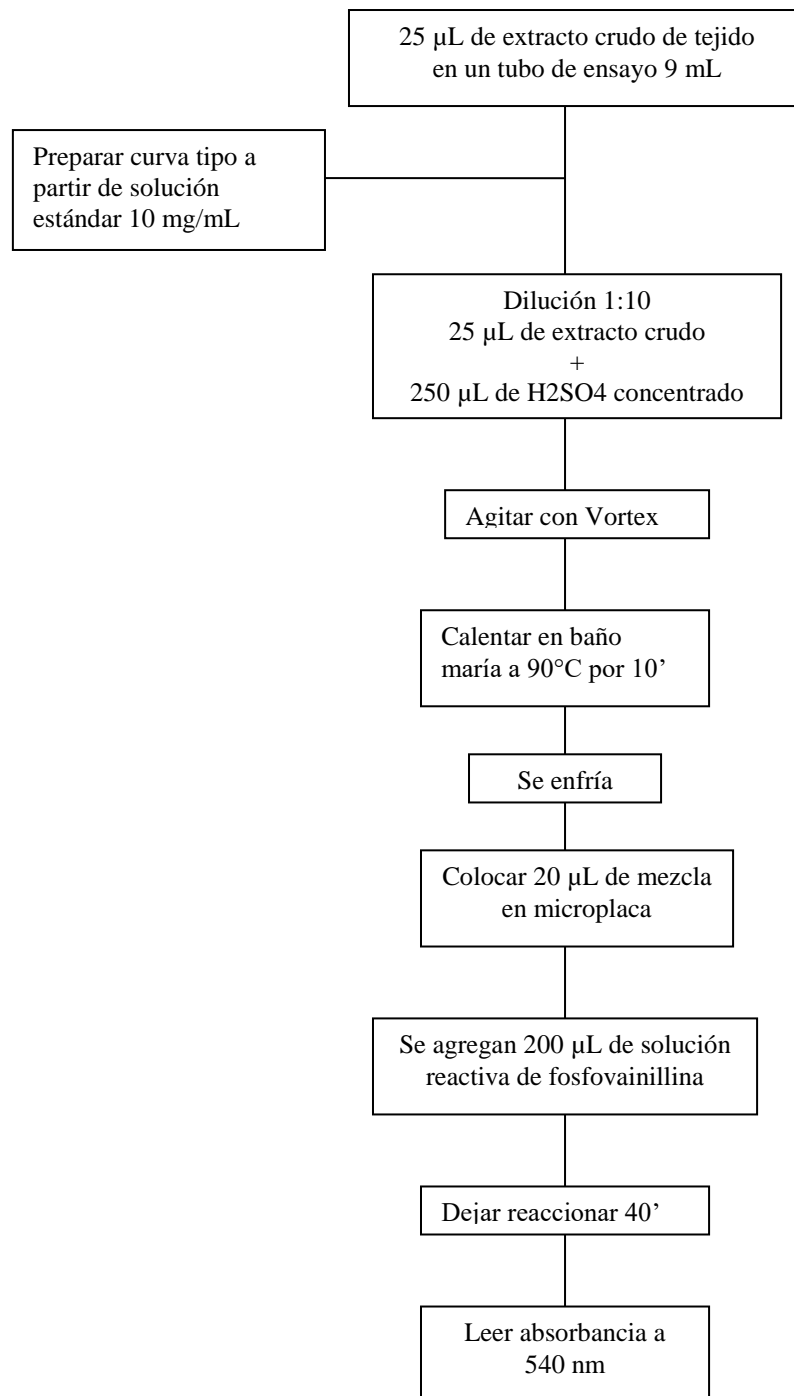


Figura 40. Procedimiento para la determinación de lípidos totales en tejidos de almeja mano de león utilizando el método de Barnes y Blackstock (1973).

Triglicéridos

La determinación de triglicéridos se realizó utilizando un kit comercial de diagnóstico Boehringer Mannheim (No. Cat.1072 765 y 1072 692) que utiliza el método GPO-PAP (Figura 41). Este método se basa en la hidrólisis de los triglicéridos por lipasas; el glicerol-3-fosfato es oxidado por la glicerol fosfato oxidasa a dihidroacetonafofosfato y peróxido, el cual reacciona con la 4-aminoantiparina y el 2-clorofenol para producir 4-fenazona colorida rosada que puede medirse a 490 nm. Esta coloración es proporcional a la concentración de glicerol-3-fosfato. La concentración absoluta se obtiene al comparar los resultados de las muestras problemas con una curva tipo. Esta se prepara a partir de una solución estándar de triglicéridos de 200 mg/dL incluida en el kit mencionado, diluyendo la solución salina hasta obtener las concentraciones de 6.25, 12.5, 25, 50, 100 y 200 mg/dL. Los cálculos para obtener cantidad de triglicéridos se realizaron como se indica en la Tabla XVIII.

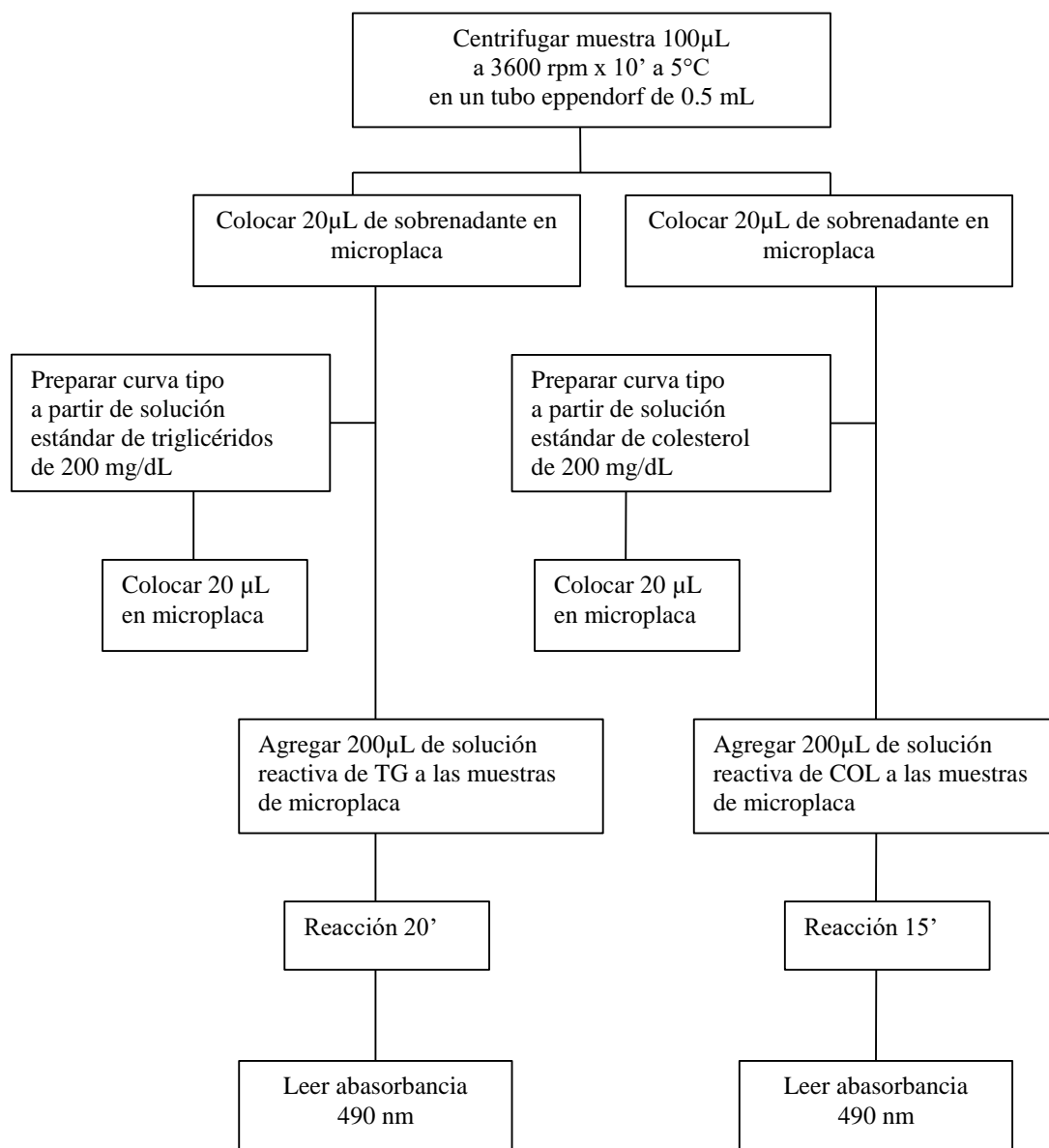


Figura 41. Procedimiento para la determinación de triglicéridos (TG) y colesterol (COL) en tejidos de *Nodipecten subnodosus* utilizando el método de GPO-PAP.

Cholesterol

La determinación de colesterol se hizo usando el kit comercial de diagnóstico Boehringer Mannheim (No. Cat. 290319) que aplica el método CHOD-PAP (Figura 41). Este método se basa en el uso de detergentes para separar el colesterol de los ésteres (lipoproteínas). La aplicación posterior de colesterol esterasa hidroliza los ésteres de colesterol incluyendo, el colesterol producido y el libre, que son oxidados por la enzima colesterol oxidasa, formando peróxidos. El peróxido reacciona con la 4-aminofenazona y fenoles en presencia de peroxidasa, produciendo la 4-(p-benzoquinona amino)- fenazona rosada que se lee a 490 nm. La concentración de esta es proporcional al colesterol contenido en la muestra. Para conocer la concentración absoluta se elabora una curva tipo a partir de una solución estándar de colesterol 200 mg/dL (contenida en el kit comercial) y se realizan diluciones en solución salina para lograr concentraciones de 6.25, 12.5, 25, 50, 100 y 200 mg/dL. Los cálculos para obtener cantidad de colesterol se realizaron como se muestra en la Tabla XVIII.

Análisis estadísticos

Para el análisis estadístico se realizaron análisis de varianza de una vía, usando como variable independiente los tratamientos térmicos y como variable dependiente los contenidos de cada una de las biomoléculas estudiadas. Así mismo se compararon los datos de cada tratamiento térmico al inicio y final del periodo experimental. Cuando el análisis de varianza arrojó diferencias significativas ($P < 0.05$), se realizó una prueba *a posteriori* (Tukey) para comparación de medias.

RESULTADOS

En esta sección se presenta primeramente un análisis global del efecto del experimento sobre la condición de los organismos al inicio y al final del mismo. Posteriormente se analizan las variaciones de las sustancias de reserva en los órganos estudiados.

En la Figura 42 se presenta el contenido bioquímico en los diferentes tejidos de *Nodipecten subnodosus* (67.4 ± 3.1 mm de altura de la concha) sometidas a un periodo experimental de 13 días bajo diferentes regimenes (estable u oscilante), tratamientos térmicos (21, 24 y 28°C) y periodos experimentales. Se practicó un análisis de varianza al total de los datos para cada tipo de biomolécula, tomando como factores el régimen y el tratamiento térmico, el tipo de tejido y el tiempo. Los resultados de éste análisis mostraron que sólo se presentaron diferencias significativas entre los diferentes tejidos analizados ($P < 0.05$). La concentración de carbohidratos osciló entre 1.7 y 230.6 mg/g, siendo la glándula digestiva el órgano que almacena más carbohidratos, seguido por la gónada, el manto y el músculo. El glucógeno varió entre 29.4 y 126.6 mg/g, almacenándose mayormente en la glándula digestiva, seguido de la gónada, el manto y el músculo. Las proteínas variaron entre 120 y 1,007 mg/g se encontraron también en mayor cantidad en la glándula digestiva seguida del músculo, la gónada y el manto. La concentración de lípidos totales se presentó entre 4.8 y 56.7 mg/g y se encontraron mayormente en la glándula digestiva seguidos por la gónada, manto y el músculo. Los triglicéridos variaron entre 0.6 y 29.4 mg/g siendo la glándula digestiva el órgano con mayor cantidad de éstos, seguido de la gónada, el músculo y el manto. El colesterol por su parte osciló entre 1.74 y 18.7 mg/g presentándose en cantidades mayores en la glándula digestiva, después en músculo, gónada y manto. A excepción del glucógeno y

colesterol en la gónada, los contenidos de sustancias de reserva finales fueron menores que los iniciales en todos los tejidos. Esto indica que los organismos a lo largo del experimento utilizaron las reservas energéticas principalmente de la glándula digestiva, manto y músculo.

La prueba de Tukey realizada *a posteriori* mostró algunas diferencias significativas ($P < 0.05$) en el contenido bioquímico entre los distintos tejidos (Tabla XIX). El contenido de todas las reservas energéticas en la glándula digestiva fue considerablemente alto en relación a los otros tejidos. Sólo en el caso de las proteínas en músculo y los triglicéridos en la gónada, las cantidades no presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$). La gónada presentó un contenido mayor de glucógeno, lípidos y triglicéridos en relación al músculo y el manto. La cantidad de triglicéridos fueron comparables con el contenido en la glándula digestiva. El músculo por su parte presentó un alto contenido de proteínas, mayor que el manto y la gónada, aunque similar a la glándula digestiva.

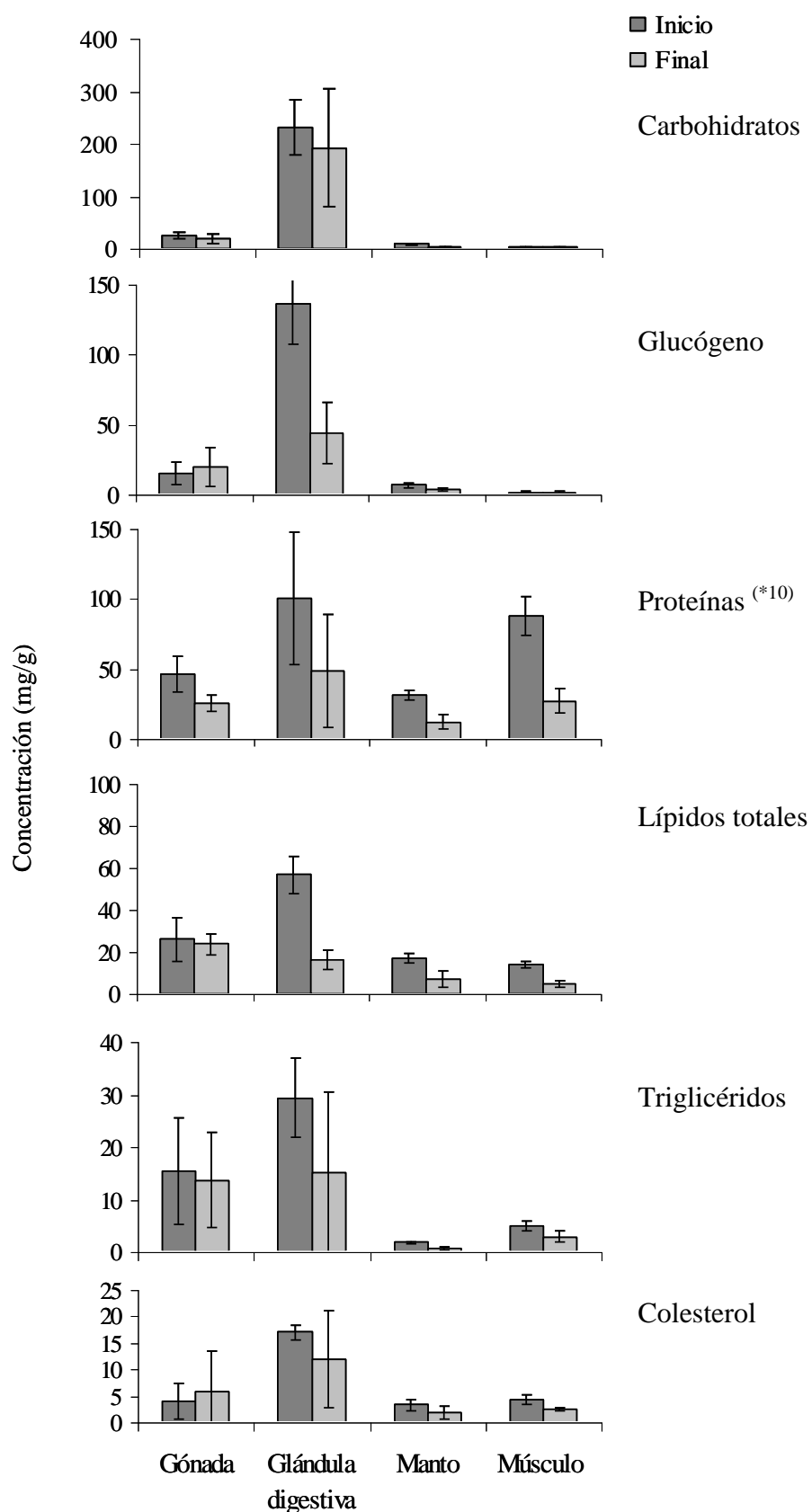


Figura 42. Contenido bioquímico de diferentes sustancias de reserva encontradas en los tejidos de *Nodipecten subnodosus* 67.4 ± 3.1 mm de altura de la concha, sometidos a diferentes tratamientos y regímenes térmicos a lo largo de un periodo de experimentación de 13 días.

TABLA XIX

Prueba de Tukey para demostrar diferencias significativas ($P < 0.05$) de la concentración de reservas energéticas en los diferentes órganos de *Nodipecten subnodosus* 67.4 ± 3.1 mm de altura de la concha a lo largo del experimento.

Tejido	Reservas energéticas					
	Carbohidratos	Glucógeno	Proteínas	Lípidos	Triglicéridos	Colesterol
Músculo	X	X	X	X	X	X
Manto	X	X	X	X	X	X
Gónada	X	X	X	X	X	X
Glándula digestiva	X	X	X	X	X	X

Se realizó un segundo análisis particular para cada tejido, de cada una de las reservas energéticas tomando como factores el régimen, el tratamiento térmico y el tiempo de experimentación.

Gónada

El mayor constituyente de la gónada fueron las proteínas, seguido de los lípidos y carbohidratos, glucógeno, triglicéridos y colesterol (Figura 42). Los resultados (Tablas XX y XXI) muestran que los organismos mantenidos a condiciones estables de temperatura incrementaron las sustancias de reserva con el tiempo, aunque esto no fue consistente para todos los casos. Los carbohidratos se incrementaron a temperaturas estables y el contenido fue significativamente mayor en el tratamiento de 28°C ($P < 0.05$) en relación a los tratamientos 21 y 24°C oscilantes. No se observó una tendencia del efecto del tratamiento térmico sobre la concentración de sustancias de reserva aunque el contenido fue mayor a 28°C , seguido de 21 y 24°C . En relación al tiempo los

organismos sometidos a oscilaciones de $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$ mostraron una baja significativa ($P < 0.05$) en sus reservas de carbohidratos. Así mismo se incrementó el contenido de glucógeno en la gónada mayormente en los organismos mantenidos a condiciones estables aunque no se presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$). Por el contrario los tratamientos de 21 y 28°C oscilantes, mostraron un descenso, aunque las diferencias sólo fueron significativas en a $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ($P < 0.05$). Las variaciones en el contenido lípidos no fueron consistentes. Se presentó un incremento en los organismos mantenidos a condiciones estables de 21 y 24°C y en el tratamiento oscilante de 28°C . En los demás casos se observó un decremento en el contenido de estas sustancias que fue significativamente diferente en el caso de los organismos oscilantes a 21°C y de los estables a 28°C ($P < 0.05$). No se observó ninguna relación entre la presencia de lípidos y la temperatura. El almacenamiento de los triglicéridos en la gónada no presentó un patrón. Se observó un incremento en los tratamientos oscilantes de 24 y 28°C y el tratamiento estable a 21°C . Sin embargo las diferencias de estas sustancias sólo fueron significativas en el tratamiento oscilante a 24°C . En los demás casos los triglicéridos descendieron aunque esto no fue significativo ($P > 0.05$). En relación a la temperatura, sólo el tratamiento oscilante de 24°C al inicio presentó diferencias significativas respecto al tratamiento oscilante de 28°C ($P < 0.05$). El contenido de colesterol no mostró ningún patrón ni diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0.05$). Al igual que los lípidos, se observó un incremento en el contenido de colesterol en los organismos mantenidos a 21 y 24°C estables y en el tratamiento oscilante de $28 \pm 2^{\circ}\text{C}$ que fue significativo ($P < 0.05$).

Tabla XX. Concentración de carbohidratos, glucógeno y proteínas en diferentes órganos de almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*), expuesta a tres tratamientos de temperatura estables y oscilantes, al inicio y al final de un período experimental de 13 días. Los valores son la media \pm DE de 6 determinaciones. Columnas con letras mayúsculas diferentes de un mismo órgano, y renglones con letras minúsculas diferentes de un mismo sustrato, indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

Órgano	Temp (°C)	Régimen térmico	Carbohidratos (mg/g)		Glucógeno (mg/g)		Proteínas (mg/g)	
			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Gónada	21	Estable	21.6 \pm 34.1 ^{Aa}	26.7 \pm 10.7 ^{ABa}	6.9 \pm 2.8 ^{Aa}	18.8 \pm 12.6 ^{Aa}	48.9 \pm 16.8 ^{Aa}	99.4 \pm 64.9 ^{Ba}
	21 \pm 2	Oscilante	30.9 \pm 14.5 ^{Ab}	13.9 \pm 13.5 ^{Aa}	25.9 \pm 44.2 ^{Aa}	12.5 \pm 15.5 ^{Aa}	59.6 \pm 30.4 ^{Ab}	20.3 \pm 13.4 ^{Aa}
	24	Estable	15.0 \pm 16.6 ^{Aa}	39.2 \pm 33.5 ^{ABa}	11.6 \pm 10.6 ^{Aa}	31.1 \pm 25.3 ^{Aa}	32.1 \pm 21.8 ^{Aa}	37.8 \pm 10.7 ^{ABa}
	24 \pm 2	Oscilante	22.2 \pm 19.2 ^{Aa}	17.2 \pm 17.1 ^{Aa}	13.2 \pm 18.5 ^{Aa}	19.8 \pm 17.7 ^{Aa}	41.5 \pm 32.4 ^{Aa}	37.2 \pm 38.0 ^{Aa}
	28	Estable	30.0 \pm 8.6 ^{Aa}	44.7 \pm 27.2 ^{Ba}	8.3 \pm 10.0 ^{Aa}	31.7 \pm 17.4 ^{Aa}	61.8 \pm 22.0 ^{Aa}	66.5 \pm 48.7 ^{ABa}
	28 \pm 2	Oscilante	29.6 \pm 22.2 ^{Aa}	24.3 \pm 18.0 ^{ABa}	23.6 \pm 25.8 ^{Aa}	18.5 \pm 9.1 ^{Aa}	34.7 \pm 29.4 ^{Aa}	29.1 \pm 23.5 ^{Aa}
Glándula digestiva	21	Estable	321.9 \pm 323.3 ^{Aa}	206.2 \pm 16.2 ^{Aa}	85.4 \pm 52.2 ^{Aa}	129.3 \pm 4.2 ^{Aa}	196.3 \pm 130.1 ^{Ba}	120.1 \pm 15.2 ^{ABa}
	21 \pm 2	Oscilante	219.5 \pm 49.7 ^{Aa}	216.8 \pm 160.1 ^{Aa}	133.1 \pm 33.8 ^{Aa}	133.9 \pm 97.5 ^{Aa}	90.0 \pm 29.4 ^{Aa}	102.3 \pm 90.1 ^{Ba}
	24	Estable	237.5 \pm 40.3 ^{Aa}	219.1 \pm 46.0 ^{Aa}	138.1 \pm 23.9 ^{Aa}	143.2 \pm 27.5 ^{Aa}	76.8 \pm 32.0 ^{Aa}	118.1 \pm 24.7 ^{ABa}
	24 \pm 2	Oscilante	196.4 \pm 28.6 ^{Aa}	167.2 \pm 42.9 ^{Ab}	135.3 \pm 21.2 ^{Ab}	88.9 \pm 24.4 ^{Aa}	73.6 \pm 42.3 ^{Ab}	37.3 \pm 37.3 ^{Aa}
	28	Estable	171.5 \pm 50.6 ^{Aa}	150.3 \pm 17.2 ^{Aa}	115.3 \pm 14.8 ^{Aa}	96.7 \pm 16.1 ^{Aa}	76.7 \pm 29.2 ^{Aa}	124.0 \pm 26.0 ^{ABb}
	28 \pm 2	Oscilante	236.6 \pm 108.2 ^{Aa}	195.5 \pm 26.2 ^{Aa}	152.2 \pm 79.5 ^{Aa}	91.9 \pm 13.6 ^{Aa}	90.6 \pm 27.7 ^{Ab}	27.5 \pm 17.6 ^{ABa}
Manto	21	Estable	6.8 \pm 3.0 ^{Aa}	8.8 \pm 2.7 ^{Aa}	5.5 \pm 2.0 ^{ABb}	2.1 \pm 1.8 ^{Aa}	30.1 \pm 9.2 ^{Aa}	27.7 \pm 10.6 ^{Aa}
	21 \pm 2	Oscilante	9.0 \pm 1.6 ^{Aa}	8.1 \pm 3.5 ^{Aa}	4.3 \pm 2.2 ^{Aa}	7.1 \pm 8.4 ^{Aa}	29.8 \pm 8.3 ^{Aa}	27.0 \pm 10.9 ^{Aa}
	24	Estable	9.5 \pm 2.2 ^{Aa}	10.1 \pm 1.8 ^{Aa}	7.1 \pm 2.4 ^{ABb}	3.1 \pm 3.0 ^{Aa}	28.7 \pm 11.0 ^{Aa}	32.9 \pm 20.6 ^{Aa}
	24 \pm 2	Oscilante	7.9 \pm 3.3 ^{Aa}	8.7 \pm 4.1 ^{Aa}	8.8 \pm 5.2 ^{Bb}	3.0 \pm 4.3 ^{Aa}	35.2 \pm 19.2 ^{Ab}	18.4 \pm 6.0 ^{Aa}
	28	Estable	9.3 \pm 3.9 ^{Aa}	8.4 \pm 1.5 ^{Aa}	8.3 \pm 4.8 ^{ABa}	4.0 \pm 3.9 ^{Aa}	29.3 \pm 6.6 ^{Aa}	42.9 \pm 16.7 ^{Aa}
	28 \pm 2	Oscilante	6.9 \pm 2.2 ^{Aa}	8.4 \pm 2.9 ^{Aa}	6.3 \pm 3.3 ^{ABa}	2.8 \pm 4.0 ^{Aa}	36.4 \pm 17.4 ^{Aa}	17.4 \pm 11.6 ^{Aa}
Músculo	21	Estable	0.8 \pm 1.5 ^{Aa}	3.4 \pm 2.8 ^{Aa}	1.0 \pm 0.6 ^{Aa}	3.5 \pm 3.0 ^{Aa}	98.6 \pm 19.6 ^{Aa}	94.0 \pm 17.1 ^{Aa}
	21 \pm 2	Oscilante	1.6 \pm 1.1 ^{ABa}	1.5 \pm 1.9 ^{Aa}	1.3 \pm 1.4 ^{Aa}	1.7 \pm 1.4 ^{Aa}	94.7 \pm 31.0 ^{Aa}	74.8 \pm 24.9 ^{Aa}
	24	Estable	0.8 \pm 1.3 ^{Aa}	0.6 \pm 1.3 ^{Aa}	0.8 \pm 1.1 ^{Aa}	3.4 \pm 1.0 ^{Aa}	62.2 \pm 37.3 ^{Aa}	85.6 \pm 33.9 ^{Aa}
	24 \pm 2	Oscilante	1.3 \pm 0.9 ^{Aa}	2.1 \pm 1.9 ^{Aa}	1.1 \pm 0.9 ^{Aa}	3.5 \pm 1.9 ^{Aa}	96.3 \pm 23.8 ^{Ab}	72.6 \pm 25.8 ^{Aa}
	28	Estable	4.3 \pm 3.5 ^{Ba}	4.8 \pm 4.6 ^{Aa}	2.0 \pm 1.0 ^{Aa}	3.7 \pm 2.8 ^{Aa}	80.0 \pm 33.6 ^{Aa}	92.6 \pm 15.2 ^{Aa}
	28 \pm 2	Oscilante	1.8 \pm 2.4 ^{ABa}	4.8 \pm 4.0 ^{Aa}	1.7 \pm 2.9 ^{Aa}	3.8 \pm 1.0 ^{Aa}	94.0 \pm 16.4 ^{Ab}	64.1 \pm 28.7 ^{Aa}

Tabla XXI. Concentración de lípidos, triglicéridos y colesterol en diferentes órganos de almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*), expuesta a tres tratamientos de temperatura estables y oscilantes, al inicio y al final de un período experimental de 13 días. Los valores son la media \pm DE de 6 determinaciones. Columnas con letras mayúsculas diferentes de un mismo órgano, y renglones con letras minúsculas diferentes de un mismo sustrato, indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

Órgano	Temp (°C)	Régimen térmico	Lípidos (mg/g)		Triglicéridos (mg/g)		Colesterol (mg/g)	
			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Gónada	21	Estable	19.9 \pm 26.4 ^{Aa}	30.9 \pm 19.5 ^{Aa}	6.4 \pm 7.4 ^{ABa}	9.5 \pm 8.3 ^{Aa}	1.9 \pm 1.5 ^{Aa}	2.6 \pm 2.8 ^{Ab}
	21 \pm 2	Oscilante	36.4 \pm 29.8 ^{Ab}	11.4 \pm 12.7 ^{Aa}	12.1 \pm 10.9 ^{ABa}	2.4 \pm 1.8 ^{Aa}	5.3 \pm 5.5 ^{Aa}	1.3 \pm 1.3 ^{Aa}
	24	Estable	16.3 \pm 19.6 ^{Aa}	31.0 \pm 28.7 ^{Aa}	24.4 \pm 19.4 ^{ABa}	10.1 \pm 14.2 ^{Aa}	1.3 \pm 1.5 ^{Aa}	4.6 \pm 2.7 ^{Ab}
	24 \pm 2	Oscilante	25.4 \pm 28.3 ^{Aa}	20.7 \pm 12.8 ^{Aa}	30.5 \pm 28.4 ^{Ba}	34.5 \pm 53.9 ^{Aa}	10.0 \pm 21.4 ^{Aa}	3.0 \pm 5.6 ^{Aa}
	28	Estable	40.3 \pm 20.3 ^{Ab}	17.2 \pm 12.7 ^{Aa}	14.7 \pm 12.6 ^{ABa}	5.1 \pm 3.6 ^{Aa}	4.1 \pm 2.6 ^{Aa}	1.9 \pm 2.4 ^{Aa}
	28 \pm 2	Oscilante	16.7 \pm 17.7 ^{Aa}	29.3 \pm 30.9 ^{Aa}	4.5 \pm 3.4 ^{Aa}	6.6 \pm 7.0 ^{Aa}	1.3 \pm 1.5 ^{Aa}	2.6 \pm 1.6 ^{Ab}
Glándula digestiva	21	Estable	44.1 \pm 24.2 ^{Aa}	45.9 \pm 8.0 ^{Aa}	42.9 \pm 44.9 ^{Aa}	22.7 \pm 3.7 ^{Aa}	18.3 \pm 25.4 ^{Aa}	14.8 \pm 7.7 ^{Aa}
	21 \pm 2	Oscilante	62.2 \pm 15.2 ^{Aa}	48.2 \pm 40.5 ^{Aa}	27.9 \pm 10.8 ^{Aa}	25.0 \pm 22.8 ^{Aa}	15.3 \pm 8.2 ^{Aa}	25.8 \pm 14.0 ^{Ab}
	24	Estable	69.4 \pm 18.9 ^{Ab}	44.8 \pm 8.2 ^{Aa}	26.4 \pm 3.9 ^{Ab}	17.7 \pm 2.9 ^{Aa}	17.0 \pm 4.4 ^{Aa}	25.3 \pm 4.5 ^{Ab}
	24 \pm 2	Oscilante	54.3 \pm 11.7 ^{Ab}	32.1 \pm 17.0 ^{Aa}	27.0 \pm 8.8 ^{Ab}	17.0 \pm 8.8 ^{Aa}	16.0 \pm 6.8 ^{Aa}	26.2 \pm 6.9 ^{Ab}
	28	Estable	51.4 \pm 13.0 ^{Aa}	60.4 \pm 39.7 ^{Aa}	20.3 \pm 4.9 ^{Aa}	18.1 \pm 4.6 ^{Aa}	16.5 \pm 4.8 ^{Aa}	21.6 \pm 5.4 ^{Aa}
	28 \pm 2	Oscilante	58.7 \pm 15.5 ^{Ab}	39.3 \pm 17.1 ^{Aa}	31.6 \pm 16.9 ^{Aa}	18.5 \pm 21.7 ^{Aa}	20.1 \pm 17.2 ^{Aa}	22.6 \pm 3.5 ^{Aa}
Manto	21	Estable	16.5 \pm 4.3 ^{Aa}	14.7 \pm 5.4 ^{Aa}	1.8 \pm 0.9 ^{Aa}	2.2 \pm 0.9 ^{Aa}	2.7 \pm 0.8 ^{ABa}	1.9 \pm 0.4 ^{Aa}
	21 \pm 2	Oscilante	14.7 \pm 3.6 ^{Aa}	15.0 \pm 5.7 ^{Aa}	1.8 \pm 0.5 ^{Aa}	2.0 \pm 0.7 ^{Aa}	2.9 \pm 1.0 ^{ABa}	2.8 \pm 1.6 ^{ABa}
	24	Estable	14.3 \pm 5.2 ^{Aa}	16.3 \pm 9.2 ^{Aa}	1.5 \pm 0.4 ^{Aa}	1.8 \pm 0.9 ^{Aa}	4.1 \pm 3.7 ^{ABa}	4.7 \pm 2.7 ^{Ba}
	24 \pm 2	Oscilante	17.0 \pm 6.3 ^{Aa}	19.3 \pm 7.3 ^{Aa}	1.8 \pm 0.5 ^{Ab}	1.3 \pm 0.7 ^{Aa}	2.6 \pm 1.7 ^{ABa}	2.7 \pm 0.8 ^{ABa}
	28	Estable	21.5 \pm 13.0 ^{Aa}	15.2 \pm 7.5 ^{Aa}	2.0 \pm 1.1 ^{Aa}	1.6 \pm 0.4 ^{Aa}	5.0 \pm 2.4 ^{Ba}	2.3 \pm 1.1 ^{Aa}
	28 \pm 2	Oscilante	17.4 \pm 11.1 ^{Aa}	16.8 \pm 15.9 ^{Aa}	1.7 \pm 0.4 ^{Aa}	1.3 \pm 0.5 ^{Aa}	1.9 \pm 0.7 ^{Aa}	2.7 \pm 0.9 ^{ABa}
Músculo	21	Estable	16.0 \pm 3.0 ^{Aa}	14.1 \pm 3.1 ^{ABa}	5.0 \pm 2.5 ^{Aa}	4.2 \pm 2.1 ^{Aa}	4.3 \pm 2.2 ^{Aa}	5.2 \pm 1.9 ^{Aa}
	21 \pm 2	Oscilante	13.8 \pm 3.4 ^{Aa}	12.2 \pm 4.0 ^{Aa}	4.2 \pm 2.1 ^{Aa}	3.5 \pm 2.0 ^{Aa}	4.0 \pm 2.6 ^{Aa}	4.4 \pm 2.6 ^{Aa}
	24	Estable	11.2 \pm 7.2 ^{Aa}	15.7 \pm 3.1 ^{ABa}	3.5 \pm 3.5 ^{Aa}	4.0 \pm 3.4 ^{Aa}	3.1 \pm 2.0 ^{Aa}	5.1 \pm 2.6 ^{Aa}
	24 \pm 2	Oscilante	14.0 \pm 4.0 ^{Aa}	19.4 \pm 5.5 ^{Bb}	5.6 \pm 2.0 ^{Aa}	4.4 \pm 2.8 ^{Aa}	5.9 \pm 2.8 ^{Aa}	5.9 \pm 2.3 ^{Aa}
	28	Estable	12.3 \pm 4.7 ^{Aa}	14.4 \pm 3.2 ^{ABa}	5.8 \pm 4.6 ^{Aa}	7.7 \pm 6.0 ^{Aa}	3.4 \pm 2.2 ^{Aa}	5.7 \pm 2.4 ^{Aa}
	28 \pm 2	Oscilante	15.3 \pm 3.8 ^{Aa}	16.9 \pm 5.2 ^{ABa}	5.4 \pm 2.5 ^{Aa}	4.0 \pm 3.8 ^{Aa}	4.4 \pm 2.5 ^{Aa}	5.0 \pm 2.8 ^{Aa}

Glándula Digestiva

En la glándula digestiva la mayor reserva se presentó en forma de proteínas, seguida de carbohidratos, glucógeno, lípidos, triglicéridos y colesterol (Figura 42). En términos generales, se observó pérdida de la mayor parte de estas reservas a lo largo del experimento. Los resultados muestran (Tablas XX y XXI) que en relación con los carbohidratos, se presentó un descenso en todos los tratamientos térmicos, aunque sólo fue significativo en los organismos mantenidos a 24°C oscilantes ($P < 0.05$). No se observó ninguna relación entre la temperatura y el contenido de carbohidratos. Los cambios en el contenido de glucógeno no fueron consistentes, ya que se incrementó en los tratamientos estables de 21 y 24°C, se mantuvo estable a 21°C oscilante y descendió en los tratamientos 28°C estable y 24 y 28°C oscilantes. Sin embargo las variaciones sólo fueron significativas a 24°C oscilante ($P < 0.05$). No se observó ninguna relación con la temperatura. El contenido de proteínas en la glándula digestiva se incrementó a 24 y 28°C estables y a 21°C oscilante. El incremento fue significativo en el tratamiento 28°C estable. Se registró una disminución de proteínas a 21°C estable y a 24 y 28°C oscilantes siendo significativa ($P < 0.05$) en estos últimos. Al inicio del experimento la mayor cantidad de proteínas se presentó a 21°C estable y la diferencia con los demás tratamientos fue significativa ($P < 0.05$). Hacia el final del experimento las concentraciones de proteínas no fueron consistentes en relación a la temperatura y el tratamiento oscilante de 21°C fue significativamente diferente en relación al tratamiento oscilante de 24°C ($P < 0.05$). Los lípidos disminuyeron en todos los casos, excepto en el tratamiento 21°C estable donde se mantuvieron iguales y en el tratamiento 28°C estable donde se incrementaron, aunque este incremento no fue significativo ($P > 0.05$). Se observaron diferencias significativas en la disminución de los lípidos a 24°C estables y

a 24 y 28°C oscilantes ($P < 0.05$). No se observaron diferencias entre los tratamientos en relación a la temperatura ($P > 0.05$). Al igual que los carbohidratos, los triglicéridos en la glándula digestiva disminuyeron en todos los tratamientos aunque las diferencias sólo fueron significativas 24°C estable y oscilante ($P < 0.05$). No se observó ninguna relación con la temperatura. El contenido de colesterol aumentó en todos los tratamientos térmicos, a excepción 21°C estable. Sin embargo, los incrementos sólo fueron significativos a 21 y 24°C oscilantes y a 24°C estable. No se encontró relación con la temperatura.

Manto

La constitución del manto fue principalmente de proteínas, seguido de lípidos, glucógeno, carbohidratos, colesterol y triglicéridos (Figura 42). Los resultados mostrados en las Tablas XX y XXI que el contenido de carbohidratos se incrementó en todos los tratamientos a excepción del tratamiento de 28°C estable donde se presentó un descenso. A pesar de lo anterior no se encontraron diferencias significativas ni se presentó ningún patrón de variación en relación a la temperatura ($P > 0.05$). El glucógeno en el manto mostró un descenso en todos los tratamientos a excepción de los organismos mantenidos a 21°C oscilante donde se observó un incremento. Sin embargo las diferencias fueron significativas en el caso de los tratamientos estables 21 y 24°C y en el tratamiento oscilante 24°C. No se presentó una relación clara entre el tratamiento térmico y el contenido de glucógeno, pero los organismos expuestos a 24°C oscilante presentaron el mayor contenido de glucógeno al inicio del experimento, el cual fue significativamente distinto al valor a 21°C oscilante. Hacia el final del periodo

experimental no se encontraron diferencias entre los tratamientos térmicos ($P > 0.05$). Las proteínas del manto tendieron a disminuir en la mayor parte de los tratamientos. La excepción fueron los tratamientos 24 y 28°C estables donde se observó un incremento. Sin embargo la diferencia sólo fue significativa 24°C oscilante ($P < 0.05$). No se observó ningún patrón debido al tratamiento térmico. Los lípidos mostraron incremento a 21 y 24°C oscilantes, así como a 24°C estable. Por el contrario, en el tratamiento 28°C oscilante y 21 y 28°C estables, se observó un descenso. En ningún caso las diferencias fueron significativas ($P > 0.05$). No se observó ninguna tendencia en relación a la temperatura. Los triglicéridos aumentaron a 21 y 24°C estables, y a 21°C oscilante. En el resto de los tratamientos se observó una disminución aunque sólo fue significativa a 24°C oscilante. No se observó ningún patrón en relación a la temperatura. El almacenamiento de colesterol no presentó ninguna tendencia. Este se incrementó a 24°C estable y a 28°C oscilante, y disminuyó a 21 y 28°C estables y a 21°C oscilante. La concentración se mantuvo sin cambio a 24°C oscilante. Ninguna de estas diferencias fueron significativas ($P > 0.05$). Se observó una relación directa del colesterol con la temperatura en los organismos mantenidos a temperaturas estables. Los organismos a temperaturas oscilantes mostraron una relación inversa al inicio de la experimentación, aunque las diferencias sólo fueron significativas entre los organismos mantenidos a temperatura estable y oscilante a 28°C. Al final del periodo experimental no hubo una relación del colesterol con la temperatura. Sin embargo hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos 24 y 28°C estables.

Músculo

Las proteínas fueron el mayor componente del músculo, seguido por los lípidos, triglicéridos, colesterol, carbohidratos y glucógeno (Figura 42). En las Tablas XX y XXI se observa que la concentración de carbohidratos en el músculo tendió a incrementarse en todos los tratamientos excepto en los tratamientos 21°C oscilante y 24°C estable. Sin embargo, las diferencias encontradas no fueron significativas ($P > 0.05$). No se observó una relación de carbohidratos con la temperatura. Al inicio del experimento, el valor más alto se presentó a 28°C estable y fue significativamente distinto a 21 y 24°C estables y 24°C oscilante. El glucógeno se incrementó en todos los tratamientos, aunque no se observó una relación con la temperatura. Los valores más altos se presentaron a la temperatura mayor tanto al inicio como al final del experimento. En ningún caso las diferencias fueron significativas ($P > 0.05$). Las proteínas descendieron en la mayoría de los tratamientos a excepción a 24°C y 28°C estables. Las diferencias fueron significativas en los tratamientos 24 y 28°C oscilantes. No hubo relación con la temperatura. Los lípidos se incrementaron en todos los tratamientos a excepción de los tratamientos 21°C estable y oscilante, donde los valores descendieron. Sin embargo las diferencias sólo fueron significativas a 24°C oscilante. No se encontró una relación con la temperatura. Los valores más bajos se presentaron a 21°C, habiendo diferencias significativas entre 24°C oscilante y 21°C estable y oscilante ($P < 0.05$). El colesterol se incrementó en todos los casos a excepción de los organismos mantenidos a 24°C oscilante donde se mantuvo igual. Sin embargo, las diferencias observadas no fueron significativas ($P > 0.05$), ni se observó ningún patrón con la temperatura.

DISCUSIÓN

Los valores de los diferentes componentes bioquímicos fueron comparados contra los reportados para la misma especie (*Nodipecten subnodosus*) y para la almeja catarina *Argopecten ventricosus* (Tabla XXII). Como puede observarse las concentraciones encontradas en gónada son comparables en carbohidratos, lípidos totales y triglicéridos, sin embargo los valores de glucógeno fueron comparativamente altos con lo reportado por Roldán-Carrillo (2001) y en general la concentración de proteínas fue más elevada en relación a la mayoría de los trabajos. La concentración de carbohidratos en la glándula digestiva fue alta en relación a valores encontrados para *A. ventricosus* (Roldán-Carrillo, 2001) y para *N. subnodosus* (Racotta *et al.*, 2003), sin embargo, fue baja en relación al estudio realizado por Arellano-Martínez *et al.* (2004) en la misma especie. Respecto al glucógeno en la glándula digestiva los valores encontrados fueron mayores que los reportados por Roldán-Carrillo, 2001 en la almeja catarina. El intervalo promedio de proteínas encontrado en el presente trabajo en glándula digestiva se encontró por arriba de los intervalos reportados por los otros autores citados. Por otro lado, los valores de lípidos fueron menores en los trabajos en almeja mano de león (Racotta *et al.*, 2003; Arellano-Martínez *et al.*, 2004b) y mayores en almeja catarina (Roldán-Carrillo, 2001). Los triglicéridos se encontraron en menor proporción que los valores encontrados por Racotta *et al.* (2003) para la misma especie. En el manto la concentración de carbohidratos y proteínas fue menor comparativamente a los valores encontrados para la almeja mano de león (Racotta *et al.*, 2003; Arellano-Martínez *et al.*, 2004b). Sin embargo, comparando con los valores reportados en almeja catarina (Roldán-Carrillo, 2001), el intervalo de carbohidratos fue similar, pero el glucógeno, las proteínas y los

Tabla XXII. Rangos de concentración de sustancias de reserva en diferentes órganos de los pectínidos *Argopecten ventricosus* y *Nodipecten subnodosus*.

Órgano	Especie	Carbohidratos (mg/g)	Glucógeno (mg/g)	Proteínas (mg/g)	Lípidos (mg/g)	Triglicéridos (mg/g)	Colesterol (mg/g)	Referencia
Gónada	<i>A. ventricosus</i>	5-7	1-2.5	43-85	2-6	-	-	Roldán-Carrillo, 2001
	<i>A. ventricosus</i>	16-31	-	69-145	6-30	-	-	Ruiz-Verdugo <i>et al.</i> , 2001
	<i>N. subnodosus</i> ♀	10-60	-	150-490	18-70	-	-	Arellano-Martínez <i>et al.</i> , 2004
	<i>N. subnodosus</i> ♂	13-35	-	210-400	25-37	-	-	Arellano-Martínez <i>et al.</i> , 2004
	<i>N. subnodosus</i>	27-50	-	234-289	25-45	9-33	-	Racotta <i>et al.</i> , 2003
	<i>N. subnodosus</i>	14-31	8-32	203-994	11-40	3-34	1-10	Este estudio
Glándula digestiva	<i>A. ventricosus</i>	15-19	27-32	60-80	9-12			Roldán-Carrillo, 2001
	<i>A. ventricosus</i>	-	-	-	-	-	-	Ruiz-Verdugo <i>et al.</i> , 2001
	<i>N. subnodosus</i>	250-490	-	145-225	48-125	-	-	Arellano-Martínez <i>et al.</i> , 2004
	<i>N. subnodosus</i>	112-125	-	164-180	132-243	67-100	-	Racotta <i>et al.</i> , 2003
	<i>N. subnodosus</i>	150-336	85-152	270-1960	39-69	17-43	15-26	Este estudio
Manto	<i>A. ventricosus</i>	6-10	1-3	53-90	3-7	-	-	Roldán-Carrillo, 2001
	<i>A. ventricosus</i>	-	-	-	-	-	-	Ruiz-Verdugo <i>et al.</i> , 2001
	<i>N. subnodosus</i>	14-38		300-600	-	-	-	Arellano-Martínez <i>et al.</i> , 2004
	<i>N. subnodosus</i>	17-63	-	313-515	-	-	-	Racotta <i>et al.</i> , 2003
	<i>N. subnodosus</i>	7-10	2-9	170-430	14-21	1.5-2.0	2-5	Este estudio
Músculo	<i>A. ventricosus</i>	40-80	25-112	395-450	15-20	-	-	Roldán-Carrillo, 2001
	<i>A. ventricosus</i>	9-130	-	113.180	-	-	-	Ruiz-Verdugo <i>et al.</i> , 2001
	<i>N. subnodosus</i>	40-190	-	390-720	-	-	-	Arellano-Martínez <i>et al.</i> , 2004
	<i>N. subnodosus</i>	32-200	-	406-474	-	-	-	Racotta <i>et al.</i> , 2003
	<i>N. subnodosus</i>	0.6-5.0	1-4	622-986	11-19	3-8	3-6	Este estudio

lípidos fueron mayores. En el músculo, los valores de carbohidratos fueron comparativamente bajos con respecto a todos los estudios reportados, al igual que la concentración de glucógeno al ser comparados con la referencia de Roldán-Carrillo, 2001. Sin embargo, las proteínas, al igual que en la glándula digestiva, presentaron concentraciones mayores que el resto de los trabajos reportados para la Tabla XXII. Los valores de lípidos fueron similares a los encontrados en almeja catarina (Roldán-Carrillo, 2001). No fue posible comparar los valores de triglicéridos en manto y músculo, ni los valores de colesterol en todos los tejidos.

Los cambios en la tendencia de acumulación de reservas en los diferentes tejidos indicaron una reducción en los componentes de la glándula digestiva en la mayoría de los tratamientos. A pesar de esta tendencia, la mayor parte de las diferencias significativas se presentaron en las pérdidas de componentes en el tratamiento estable a 24°C (lípidos y triglicéridos) y el tratamiento oscilante a 24°C (carbohidratos, glucógeno y proteínas). La excepción más marcada a esta tendencia fue la acumulación de colesterol en la glándula digestiva en todos los tratamientos a excepción del tratamiento estable a 21°C donde se notó una disminución, aunque esta no fue significativa. De manera similar, el manto tendió a disminuir las sustancias de reserva, aunque en algunos componentes no fue claro, ya que también se observaron incrementos. Sin embargo, las diferencias significativas encontradas fueron en disminución de glucógeno (en los tratamientos estables de 21 y 24°C, y las proteínas y triglicéridos (para el tratamiento oscilante a 24°C). No hay una relación consistente entre la pérdida o acumulación de reservas en relación al régimen térmico en este tejido. En la gónada se observaron dos tendencias, una al incremento de reservas que en términos generales se presentó en los organismos mantenidos a condiciones estables,

mientras que los tratamientos oscilantes tendieron a perder reservas, aunque en pocos casos estas diferencias fueron significativas.

Las observaciones realizadas en los diferentes tejidos pudieron enmascarse debido a los eventos reproductivos que se observaron a lo largo del experimento. Por ejemplo, al observar el contenido de reservas en la gónada y en el músculo en el tratamiento oscilante de 21°C, pareciera indicar que los organismos se encontraban bajo condiciones adversas, por lo que tuvieron que utilizar sus reservas. Sin embargo, en este tratamiento se presentaron varios desoves, por lo que los organismos pudieron hacer frente al gasto energético de la reproducción sin repercusión en la supervivencia debido a las reservas acumuladas (Figura 33). Los organismos de los tratamientos estables (21, 24 y 28°C), no desovaron y en consecuencia hubo tendencia a una mayor acumulación. Por otra parte, los organismos a 28°C oscilante que desovaron el día 7 de la oscilación térmica, presentaron baja supervivencia. Las diferencias en la supervivencia posterior a los desoves a las temperaturas de 21 y 28°C pueden ser explicadas debido a que los organismos a 28°C presentaban una mayor demanda metabólica ($P < 0.05$). Por otra parte, a esta temperatura los organismos se encontraban cercanos a sus límites de tolerancia térmica (González-Estrada, 2001). En contraste, los organismos sometidos a 21°C a un régimen oscilante, eran comparativamente más eficientes ya que las tasas respiratorias fueron significativamente menores en relación a los organismos mantenidos a temperaturas estables ($P < 0.05$). En cuanto a la adquisición de energía, en estos organismos, las tasas de ingestión fueron significativamente mayores en relación a los organismos estables ($P < 0.05$), el régimen oscilante promovió también el aumento de la eficiencia de absorción (66.24%) y tasa de absorción que resultó ser 36.22 % mayor que los organismos mantenidos a temperaturas constantes. En conclusión, los

valores más altos de energía potencial se presentaron en los organismos sometidos a temperatura oscilante ($P<0.05$). Las observaciones en relación a la temperatura coinciden con la investigación realizada por Arellano-Martínez *et al.* (2004a), quienes hicieron un estudio reproductivo de la misma especie en la Laguna Ojo de Liebre. Estos autores encontraron que el ciclo reproductivo mostró una clara estacionalidad relacionada con la temperatura del agua. La gametogénesis inició en abril, aproximadamente a 18 °C y continuó durante los meses posteriores cuando la temperatura se incrementó paulatinamente hasta alcanzar el mayor porcentaje de individuos maduros (90 a 100%) en agosto, a la temperatura cercana a los 23 °C.

Existen numerosos trabajos que abordan los efectos de la temperatura estable sobre la reproducción de diversas especies. Los resultados del trabajo de Pilditch y Grant (1999) concuerdan con los obtenidos en la presente investigación. Estos autores sometieron a condiciones estables y oscilantes a *Placopecten magellanicus* y encontraron que los organismos mantenidos a temperaturas oscilantes tendieron a canalizar la energía obtenida del medio para la reproducción. A pesar de que el almacenamiento y utilización de reservas energéticas en relación al ciclo reproductivo en moluscos bivalvos ha sido bien descrito, son pocos los trabajos realizados en *Nodipecten subnodosus* (Arellano-Martínez, *et. al*, en prensa). Maeda-Martínez y López-Sánchez, (2006) demostraron la aceleración de la maduración reproductiva por las oscilaciones térmicas en *N. subnodosus*. La energía necesaria para el desarrollo de gametos en la gónada es tomada de otros órganos diferentes a la gónada antes de la gametogénesis (estrategia conservadora) o bien es tomada directamente del medio cuando la cantidad y calidad de alimento es suficiente para mantener este evento (estrategia oportunista) (Bayne 1976b). Barber y Blake (1991) y Román *et al.* (2001), identificaron que el

músculo de los pectínidos es el principal tejido que actúa como fuente de reserva energética para el desarrollo gonádico. En el presente trabajo la tendencia en el músculo, fue a la acumulación de los carbohidratos, glucógeno, lípidos y colesterol, mientras las proteínas y triglicéridos tendieron a disminuir. Esto indica la movilización de reservas hacia la gónada. Particularmente en el caso de las proteínas algunos autores mantienen de manera importante el costo de la gametogénesis (Arellano-Martínez, en prensa). A pesar de lo anterior, las observaciones realizadas en el presente trabajo señalan que los organismos usaron las reservas de la glándula digestiva y del manto durante el experimento. Existe controversia respecto a la importancia de la glándula digestiva como órgano de almacén de reservas energéticas. Barber y Blake (1986), mencionaron que la glándula digestiva es un órgano de almacén de reservas energéticas, aunque consideraron que su importancia es mayor a corto plazo. Saout *et al.* (1999), establecieron que glándula digestiva no tiene un papel determinante en la vitelogénesis y mencionan al músculo como el principal donador de reservas para esta actividad. En el presente trabajo se observó que aparentemente la glándula digestiva aportó energía en forma de reservas (carbohidratos, proteínas, lípidos y triglicéridos). Por lo tanto, la glándula digestiva presumiblemente funcionó como tejido de reserva de igual importancia que el músculo, sobre todo porque presentó mayor contenido de todas las biomoléculas estudiadas. Estas observaciones están apoyadas en los resultados encontrados por Arellano-Martínez *et al.* (2004b) en la misma especie. Estos autores mencionaron que una disminución del índice de la glándula digestiva, indicó (de manera indirecta) movilización de reservas desde este tejido. El manto también se ha postulado en pectínidos como un tejido de almacén de reservas (Martínez 1991). En este trabajo se presentó una tendencia al descenso en el contenido de lípidos, colesterol, glucógeno, proteínas y triglicéridos del manto, aunque las diferencias significativas encontradas

sólo se dieron en algunos tratamientos. Otros estudios apoyan los resultados, ya que se han realizado observaciones similares para este mismo género. Una observación fisiológica que apoya lo anterior fue el incremento de la tasa de excreción con el tiempo en todas las temperaturas, tanto en organismos a temperaturas estables como oscilantes ($P<0.05$) (Figura 35 y 36). Esto parece estar relacionado con cambios en el metabolismo de nutrientes. Particularmente, cuando los organismos recurren a la utilización de proteínas el catabolismo de estas reservas lleva a la formación de amonio, compuesto que representa del 60-90% del nitrógeno excretado en numerosas especies de bivalvos (Navarro, 2001). El incremento en la excreción de amonio sugiere que los organismos recurrieron a las proteínas como fuente energética alternativa o bien por la movilización de sustancias de reserva a diferentes órganos en el proceso reproductivo (Ansell y Sivadas, 1973; Bayne *et al.*, 1975; Emerson, 1969; Hawkins y Bayne, 1991).

CONCLUSIONES

- Los análisis bioquímicos realizados en los diferentes tejidos demostraron que el órgano con mayor cantidad de reservas en *Nodipecten subnodosus* fue la glándula digestiva.
- El mayor componente para todos los tejidos estudiados fueron las proteínas.
- No se observó una influencia clara de la temperatura ni del régimen térmico utilizado, sin embargo se piensa que los eventos reproductivos que se presentaron pudieron haber enmascarado las posibles diferencias.

- Los efectos del tiempo en la acumulación de reservas mostraron en términos generales que hubo una movilización de reservas desde la glándula digestiva, manto y músculo hacia la gónada, aunque no para todas las reservas fue significativa. Esta movilización hace suponer que *Nodipecten subnodosus* utilizó sus reservas energéticas para la producción de gametos mostrando una estrategia conservadora.

CONCLUSIONES GENERALES

- En relación a la temperatura, adecuada selección de sitios de cultivo para la acuicultura, deben basarse en los registros de alta frecuencia, que reflejan las condiciones reales de éstos. Así mismo, como el las preferencias térmicas (óptimas y extremas) de las especies de interés.
- El diseño, desarrollo y las pruebas realizadas en el Simulador Térmico Marino demostraron que es un equipo capaz de replicar, a partir de una base de datos, las variaciones térmicas observadas en el medio natural. Por lo que abre la posibilidad de investigar el efecto de las variaciones térmicas sobre los organismos acuáticos.
- Los organismos de almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*) se ven favorecidos por la temperatura variable. Esto se demostró en el incremento de su energía potencial de crecimiento, el número de eventos reproductivos, el crecimiento neto y la supervivencia. El componente más importante de la ecuación de balance energético fue la absorción, que se vio influenciada por un incremento de la tasa de ingestión del 24% en organismos mantenidos a temperaturas oscilantes.
- En el presente trabajo no pudo determinarse el efecto de las oscilaciones térmicas sobre la condición de los organismos de almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*). Se piensa que los eventos reproductivos que se presentaron pudieron haber enmascarado las posibles diferencias.

RECOMENDACIONES

- Para la selección de un sitio potencial de cultivo debe ser una prioridad caracterizar las variaciones térmicas de alta frecuencia y complementar la información con las bases de datos baja frecuencia, ya que esto nos puede dar una idea de las condiciones a las que se pueden enfrentar los organismos en cultivo.
- Es importante conocer los límites de tolerancia y las preferencias térmicas de las especies de interés para saber si existe compatibilidad con el sitio potencial de cultivo.
- Es necesario lograr acuerdos interinstitucionales para mantener una red de monitoreo de termógrafos en cuerpos de agua de interés.
- Cabe señalar que esta investigación aborda únicamente la temperatura y su variabilidad, aunque se reconoce que existen otros factores tales como la cantidad y calidad de seston, la salinidad y el oxígeno disuelto (Lodeiros *et al.* 2001b) que, aunque de menor importancia y menores niveles de variación en esta región, también deben ser considerados como información de apoyo a la selección de sitios para cultivo de moluscos.
- Realizar estudios de balance energético utilizando registros de temperatura de alta frecuencia de diferentes sitios de cultivo.

- Aplicar el régimen oscilante de temperatura en los laboratorios de crianza a fin de acelerar la maduración reproductiva de los progenitores.
- Estudiar el efecto de la oscilación térmica en las formas larvarias y juvenil en moluscos.
- Estudiar el efecto de la oscilación térmica en especies de diferentes latitudes y grupos zoológicos para conocer si el incremento en el PC es generalizada.
- Estudiar las causas que estimulan la filtración de partículas ante las condiciones oscilantes de temperatura.
- Aunque la reproducción no fue parte de los objetivos planteados en el presente trabajo, los hallazgos en torno a esta pueden ser una contribución importante para el manejo de organismos en los laboratorios de producción. Por lo anterior se recomienda realizar un estudio que explique el efecto de las oscilaciones térmicas sobre la maduración reproductiva.

LITERATURA CITADA

- Aguirre GG. 1990. Evaluación de los niveles de glucógeno y colesterol en el hepatopáncreas de camarón blanco (*Penaeus vannamei*). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 69 pp.
- Ahn IY, Surh J, Park YG, Kwon H, Choi KS, Kang SH, Choi HJ, Kim KW, Chung H. 2003. Growth and seasonal energetics of the Antarctic bivalve *Laternula elliptica* from King George Island, Antarctica. Mar. Ecol. Prog. Ser. 257:99-110.
- Albentosa M, Beiras R, Camacho AP. 1994. Determination of optimal thermal conditions for growth of clam (*Venerupis pullastra*) seed. Aquaculture 126(314):315-328.
- Álvarez-Borrego S, Galindo-Bect LA, Chee-Barragan A. 1975. Características hidroquímicas de Bahía Magdalena, B. C. S. Ciencias Marinas, U. A. B. C. 2 (2): 94 – 110.
- Alvarez-Jorna P. 1995. *Crecimiento, reproducción y energetica fisiologica de la almeja Tapes philippinarum*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Dpto. Biología Marina y Genética. Universidad del País Vasco, España.
- Ansell AD, Sivadas P. 1973. Some effects of temperature and starvation on the bivalve *Donax vittatus* (da Costa) in experimental laboratory populations. Journal of experimental Marine Biology and Ecology. 13:229-62.
- Arellano-Martínez M, Ceballos-Vázquez BP, Villalejo-Fuerte M, García-Domínguez F, Elorduy-Garay JF, Esliman-Salgado A, Racotta IS. 2004a. Reproduction of the lion's paw scallop *Nodipecten subnodosus* Sowerby, 1835 (Bivalvia: Pectinidae) from Laguna Ojo de Liebre, B.C.S., México. J. Shellfish Res. 23:723-729.
- Arellano-Martínez M, Racotta IS, Ceballos-Vázquez BP, Elorduy-Garay JF. 2004b. Biochemical composition, reproductive activity, and food availability of the lion's paw scallop *Nodipecten subnodosus* in the Laguna Ojo de Liebre, B.C.S., Mexico. J. Shellfish Res. 23:15-23.
- Arellano-Martínez M. 2005. Características ecofisiológicas de la reproducción de *Nodipecten subnodosus* en la laguna Ojo de Liebre, B.C.S. México. Tesis Doctoral. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. La Paz, B.C.S., México. 170 p.
- Arellano-Martínez M, Ceballos-Vázquez BP, Freitas L, Lodeiros C, Palacios E, Racotta IS, Valdez RG, García-Domínguez F. Reproducción. En: Maeda-Martínez AN, Lodeiros C (eds), Biología y cultivo de los moluscos pectinidos del genero *Nodipecten*. Editorial Limusa. En preparación.
- Armsworthy SL, Cranford PJ, Lee K. 1999. Effects of a new bitumen fuel source on the growth and energetics of sea scallops. J. Shellfish Res. 18(1): 312

Axiak V, George JJ. 1987a. Bioenergetic responses of the marine bivalve *Venus verrucosa* on long-term exposure to petroleum hydrocarbons. Marine Environmental Research. London. 23(1):33-47.

Axiak V, George JJ. 1987b. Effects of exposure to petroleum hydrocarbons on the gill functions and ciliary activities of a marine bivalve. Marine Biology. Berlin, Heidelberg. 94(2):241-249.

Bacher C, Grant J, Hawkins AJS, Jianguang Fang, Mingyuan Zhu, Besnard M. 2003. Modelling the effect of food depletion on scallop growth in Sungo Bay (China). Aquat. Living Resour./Ressour. Vivantes Aquat. 16(1):10-24.

Bacon GS, MacDonald BA. 1991. Food quality, feeding activity and energy balance in the sea scallop *Placopecten magellanicus*. J. Shellfish Res. 10(1):271.

Baqueiro CE. 1984. Status of molluscan aquaculture on the Pacific coast of Mexico. Aquaculture 39:83-93.

Barber BJ, Blake NJ. 1986. Growth and reproduction of the bay scallop, *Argopecten irradians* (Lamarck) at its southern distributional limit. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 66:247-256.

Barber BJ, Blake NJ. 1991. Reproductive physiology. pp 377-409. En: Shumway E (ed), Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture. Amsterdam. Elsevier.

Barille L, Haure J, Pales-Espinosa E, Morancais M. 2003. Finding new diatoms for intensive rearing of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*): energy budget as a selective tool. Aquaculture 217(1-4):501-514.

Barnes H, Blackstock J. 1973. Estimation of lipids in marine animals and tissues: detailed investigations of the sulphophosphovanillin method for total lipids. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 12:103-118.

Bayne BL. 1971. Oxygen consumption by three species of lamellibranch mollusc in declining ambient oxygen tension, Comp. Bioch. and Phys. 40A: 955-70.

Bayne BL. 1973. Aspects of the metabolism of *Mytilus edulis* during starvation. Nether. J. of Sea Res. 7: 399-410.

Bayne BL, Thompson RJ, Widdows J. 1973. Some effects of temperature and food on the rate of oxygen consumption by *Mytilus edulis* L. pp 181-193. En: Wieser W (ed). Effects of temperature on ectothermic organisms. Berlin-Meidelberg-New York.

Bayne BL. 1975. Aspects of physiological condition in *mytilus edulis* l., with special reference to the effects of oxygen tension and salinity. In: Proceedings, 9th european marine biology symposium, H. Barnes, ed, Aberdeen University Press, pp 213-238, 1975. 2 tab., 12 fig., 60 ref.

Bayne BL. 1976a. Marine mussels: their ecology and physiology. Cambridge University Press.

Bayne BL. 1976b. Aspects of reproduction in bivalve molluscs. pp 432-448. En: Wiley ML (ed). Estuarine Processes. New York: Academic Press.

Bayne BL, Moore MN, Widdows J, Livingstone DR, Salkeld P. 1979. Measurement of the responses of individuals to environmental stress and pollution: studies with bivalve molluscs. Presented at: The assessment of sublethal effects of pollutants in the sea; London, UK.

Bayne BL, Newell RC. 1983. Physiological energetics of marine molluscs. In: Wilbur K.M., Saleuddin A.S. (eds) The Mollusca. Vol. 4 Academic Press, New York.

Bernabé, G. 1991. Acuicultura. Vol. 1. Ediciones Omega. España. 478 pp.

Blanchard M, Gros P. 1993. Estimation of matter fluxes generated by filter-feeding bivalves in the intertidal area of the Bay of Saint-Brieuc (Western Channel). Oceanol. Acta 16:5-6.

Blanchard M. 1991. Etude bioenergetique de six mollusques bivalves en baie de Saint-Brieuc. IFREMER, Cent. de Brest, Environ.-Littoral, B.P. 70, 29280 Plouzane, France.

Blanchard M, Gros P. 1993. Estimation of matter fluxes generated by filter-feeding bivalves in the intertidal area of the Bay of Saint-Brieuc (Western Channel). Oceanol. acta. Paris 16 (5-6): 695-704.

Bodoy A, Riva A, Maitre-Allain T. 1986. Comparaison de la respiration chez *Ruditapes decussates* (L.) et *R. Philippinarum* (Adams y Reeve) en fonction de la temperature. Vie Milieu. 36:83-89.

Bradford M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal. Bioch. 72:284-256.

Brand A. R, Roberts D. 1973. The cardiac responses of the scallop *Pecten maximus* (L.) to respiratory stress. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 13: 29-43.

Brett JR. 1979. Environmental factors and growth. In Fish Physiology, Volume VIII. (WS Hoar, DJ Randall, JR Brett, eds), pp. 599-677. New York: Academic Press.

Bricelj VM, Epp J, Malouf RE. 1987a. Comparative physiology of young and old cohorts of bay scallops *Argopecten irradians* (Lamarck): mortality, growth, and oxygen consumption. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 112:73-91.

Bricelj VM, Epp J, Malouf RE. 1987b. Intraspecific variation in reproductive and somatic growth cycles of bay scallops *Argopecten irradians*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 36:123-137.

Bricelj VM, Shumway S. 1991. Physiology: Energy Acquisition and Utilization. In: Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture, Shumway S (ed). Elsevier: New York, pp. 305-337.

Bricelj VM, Kraeuter JN, Powell EN, Klinck JM, Hofmann EE, Grizzle R, Buckner S. 2003. A simulation model of the population growth of hard clams (*Mercenaria mercenaria*). III. Effects of brown tide. J. Shellfish Res. 22(1):320-321.

Brokordt K, Lafrance M, Himmelman J, Nusetti O, Guderley H. 1999. Book of Abstracts: 12th International Pectinid Workshop.

Brokordt K, Lafrance M, Himmelman J, Nusetti O, Guderley H. 1999. The use of escape responses to evaluate the physiological status of scallops; experiments with temperate and tropical species. Book of Abstracts: 12th International Pectinid Workshop.

Broom MJ, Mason J. 1978. Growth and spawning in the pectinid *Chlamys opercularis* in relation to temperature and phytoplankton concentration. Mar. Biol., 47:277-285.

Buchanan DV, Meyer MJ, Caldwell RS. 1975. Improved flowing water apparatus for the cultura of Brachyuran crab larve. J. Fish. Res. Board Can. 32(10): 1880-3.

Bückle RLF, Díaz FH, Correa FS, Barón BS, Hernández M. R. 1994. Diel thermoregulation of the crawfiash *Procambarus clarkii* (Crustacea, Cambaridae). Journal of Termal Biology. 19 (6): 419-422.

Bückle RFL, Barón SB, Hernández RM., Ledo MA, Solís AR, Pérez EB, Hernández SA. 2003. Sistema de temperatura, oxígeno y salinidad para la experimentación en ecofisiología. Hidrobiológica. 13 (4):277-287.

Carvalho SL. 2003. *Temperatura letal superior en dos poblaciones de juveniles de ostión japonés Crassostrea gigas*. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar, IPN, La Paz, México.

Carrillo O, Vega-Villasante F, Nolasco H, Gallardo N. 2000. Aditivos alimentarios como estimuladores del crecimiento de camarón. En: Cruz-Suárez LE, Ricque-Marie D, Tapia-Salazar M, Olvera-Novoa MA, Civera-Cerecedo R, (Eds.). Avances en Nutrición Acuícola V. Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 19 – 22 Noviembre, 2000. Mérida, Yuc, México.

Chen YLL, Chen H. 1991. Temperature selections of *Anguilla japonica* (L.) elvers, and their implications for migrations. Australian Journal of Marine and Freshwater Research 42: 743-750.

Claereboudt MR, Himmelman JH, Cote J. 1994. Field evaluation of the effect of current velocity and direction on the growth of the giant scallop, *Placopecten magellanicus*, in suspended culture. J Exp. Mar. Biol. Ecol. 183: 27-39.

Conan G, Shafee MS. 1978. Growth and biannual recruitment of the black scallop *Chlamys varia* (L.) in Lanvéoc area, Bay of Brest. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 35:59-71.

Conover RJ. 1966. Assimilation of organic matter by zooplankton. Limnology and Oceanography. 11:338-345.

Contreras F. 1985. Las lagunas costeras mexicanas. Centro de ecodesarrollo, Secretaria de Pesca, México, pp. 66 – 71.

Cortés-Jacinto E. 1993. Evaluación del efecto de la calidad y cantidad de proteínas en las raciones comerciales leletizadas, en el crecimiento y la supervivencia del camarón blanco (*Penaeus vannamei*). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México. 86 pp.

Coughlan J. 1969. The estimation of filtering rate from the clearance of suspensions. *Marine Biology*. 2: 356-358

Couturier CY, Newkirk GF. 1991. Biochemical and gametogenic cycles in scallops, *Placopecten magellanicus* (Gmelin, 1791), held in suspension culture. En: S. E. Shumway & P. A. Sandifer, editors. *An International Compendium of Scallop Biology and Culture*. The World Aquaculture Society, Baton Rouge. pp. 107-117.

Cranford PJ, Gordon DC Jr, Lee K, Armsworthy SL, Tremblay G-H. 1999. Chronic toxicity and physical disturbance effects of water- and oil-based drilling fluids and some major constituents on adult sea scallops (*Placopecten magellanicus*). *Mar. Environ. Res.* 48(3):225-256.

Da Ros L, Marin MG, Nesto N, Ford SE. 1998. Preliminary Results of a Field Study on Some Stress-related Parameters in Tapes philippinarum Naturally Infected by the Protozoan Perkinsus sp. *Mar. Environ. Res.* 46(1-5):249-252.

Davies PS. 1966. Physiological ecology of Patella I. The effect of body size and temperature on metabolic rate. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.* 46:647-658.

Diana SJ. 1984. The growth of large mouth bass, *Micropterus salmoides* (Lacepede), under constant and fluctuating temperatures. *J. Fish Biol.* 24: 165-172.

Dickie LM. 1958. Effects of the high temperature on survival of the giant scallop. *J. Fish. Res. Bd. Canada* 15:1189-1211.

Doudoroff, P. 1938. Reactions of marine fishes to temperature gradients. *Biological Bulletin*. 75: 494-509.

Ebert EE, Haseltine AW, Kelly RO. 1974. Sea-water system design and operations of the marine culture laboratory, Granite Canyon. *Calif. Fish and Game*. 60 (1): 4-14.

Eckman JE, Peterson CH, Cahalan, JA. 1989. Effects of flow speed, turbulence and orientation on growth of juvenile bay Scallops *Argopecten Irradians concentricus* (Say). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 132: 123-140.

Elliott JM, Davison W. 1975. Energy equivalents of oxygen consumption in animal energetics. *Oecología* 19: 195-201.

Emerson DN. 1969. Influence of salinity on ammonia excretion rates and tissue constituents of euryhaline invertebrates. *Comparative Biochemistry and Physiology*. 29, 1115-33.

Epifanio CE. 1979. Comparison of yeast as foods for juvenile bivalve molluscs. *Aquaculture* 16: 187-192.

Epifanio CE. 1983. Phytoplankton and yeast as foods for juvenile bivalves: a review of research at the University Delaware. In: Pruder D, Langdon C and Conklin D. (eds). *Proceedings of the Second International Conference on Aquaculture Nutrition: Biochemical and Physiology Approaches to Shellfish Nutrition*. World Mariculture Society, Louisiana, USA.

Epp J, Bricelj VM, Malouf RE. 1988. Seasonal partitioning and utilization of energy reserves in two age classes of the bay scallop *Argopecten irradians irradians* (Lamarck). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 121(2):113-136.

Espina, S, Días FH, Bückle LFR. 1993. Preferred and avoid temperatures in the crawfish *Procambarus clarkii* (Decapoda, Cambaridae). *J. of Thermal Biol.* 18: 39-39.

Farías A, Uriarte I, Varas P. 1997. Estudio de los requerimientos nutricionales del ostión del norte *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819) durante el acondicionamiento reproductivo. *Rev. Biol. Mar. Ocean.* 32(2):127-136.

Farias A, Uriarte I. 2001. Effect of microalgae protein on the gonad development and physiological parameters for the scallop *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819). *J. Shellfish Res.* 20(1):97-105.

Ferron A, Leggett WC. 1994. An Appraisal of Condition Measures for Marine Fish Larvae. In: *Advances in Marine Biology* 30: 217-303.

Fry FEJ. 1947. The aquatic respiration of fish. In: M.E.Brown (Editor) *The physiology of fishes*, 1, Academic Press New York and London, 1-63

Freites L, Lodeiros C, Narváez N, Estrella G, Babarro JMF. 2003. Growth and survival of the scallop *Lyropecten* (= *Nodipecten*) *nodosus* (L., 1758) in suspended culture in the Cariaco Gulf (Venezuela), during a non-upwelling period. *Aquacult. Res.* 34:709-718.

Garder T, Eliassen E. 1954. The energy metabolism of *Ostrea edulis*. Univ. Bergen Arbok. Naturv. 3: 1-7.

Giese AC. 1959. Reproductive cycle of some west coast invertebrates. En: R. Withrow, (ed.). *Photoperiod and related phenomena in plant and animals*. Washington, D. C. *American Association of Science*, 55: 625-638.

Giese AC, Kanatani H. 1987. Maturation and Spawning. En: A. C. Giese, S. Pearce & V. B. Pearce (editors). *Reproduction in Marine Invertebrates*. Vol. IV. General Aspects: Seeking Unity in Diversity. Palo Alto: Blackwell Scientific. pp. 251-339.

Gómez-Junco, T. 1989. El laboratorio de ecofisiología y cultivos del Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A.C.: Sistema de abastecimiento de Agua Marina. Centro de Estudios Tecnológicos del Mar. La Paz, B.C.S. México.

González-Estrada F. 2003. *Temperaturas letales y temperatura optima para crecimiento en una poblacion de almeja mano de león (Nodipecten subnodosus Sowerby, 1835)*. Tesis de Maestria. Centro de Investigaciones Biologicas del Noroeste S.C. La Paz, B. C. S., México.

Goulletquer P, Wolowicz M. 1989. The shell of *Cardium edule*, *Cardium glaucum* and *Ruditapes philippinarum*. Organic content, composition and energy value as determined by different methods. J. Mar. Biol. Ass. U. K., 69:563-572.

Grant J, Cranford PJ. 1991. Carbon and nitrogen scope for growth as a function of diet in the sea scallop *Placopecten magellanicus*. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. Plymouth. 71(2):437-450.

Guerreiro JA. 1995. Energy budget of *Scrobicularia plana* (Da Costa, 1778) in the Mira Estuary (Portugal). Portugaliae zoologica. Lisbon. 3(3):15-27.

Hall SG, Finney J, Lang RP, Tiersch TR. 2002. Design and development of a geothermal temperature control system for broodstock management of channel catfish *Ictalurus punctatus*. Aqua. Enginee. 26(4): 277-289.

Hansen DJ. 1972. DDT and malathion: effects on salinity selection by mosquitofish. Transaction of American Fisheries Society. 101:346-350.

Harrell RM, Hochheimer JN, Maritt DW, Rhoades DA. 1989. A new system for control of temperature and salinity for experimental and production tank culture. Aquacultural Engineering. 8: 155-163.

Harvey M, Vincent B. 1990. Density, size distribution, energy allocation and seasonal variations in shell and soft tissue growth at two tidal levels of a *Macoma balthica* (L.) population. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 142(3):151-168.

Hastings WH, Dickie LM. 1972. Feed formulation and evaluation. In: Halver JE. (ed). Fish Nutrition, Academic Press, New York. 327-374.

Hawkins AJS, Bayne BL. 1985. Seasonal variation in the relative utilization of carbon and nitrogen by the mussel *Mytilus edulis*: Budgets, conversion efficiencies and maintenance requirements. Marine ecology progress series. 25(2):181-188.

Hawkins AJS, Bayne BL. 1991. Nutrition of marine mussels: factors influencing the relative utilizations of protein and energy. Acuaculture. 94:177-196.

Hecht T. 1994. Behavioral thermoregulation of the abalone *Haliotis midae*, and the implications for intensive culture. Aquaculture. 126: 171-181.

Hemmingsen AM. 1960. Energy metabolism as related to body size and respiratory surfaces and its evolution. Report of the Steno Memorial Hospital and the Nordisk Insulinlaboratorium. 4:7-58.

Herman LJ. 1995. Water condition tank to control supersaturation and temperature. The Progressive Fish-Culturist. 57: 164-165.

Hernández-Valenzuela R. 1996. Pesquería de Almeja Pata de Mula. En: Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur, Casas-Valdez, M y Ponce-Díaz, G. (eds). 121-126.

Hernández RM, Bückle RLF. 1997. Thermal preference area for *Macrobranchium tenellum* in the context of global climatic change. J. of Thermal Biol. 22 (4, 5): 309-313.

Hernández RM, Bückle RLF, Días F. 1995. Preferred temperatura of *Macrobranchium tenellum* in the contexto f global climatic charge. J. of Thermal Biol. 27:1-5.

Hernández-López L, Vargas-Albores F.. 2003. A microplate technique to quantify nutrients (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^- and PO_4^{3-}) in seawater. *Aquaculture Research* 34: 1201-1204.

Hettler WF. 1974. A filter and chiller for an open seawater system. Prog. Fish-Cult. 36: 234-8.

Hibbert CJ. 1977. Energy relations of the bivalve *Mercenaria mercenaria* on an intertidal mudflat. Mar. Biol. 44(1):77-84.

Hodgson ES. 1951. Reaction thresholds of an aquatic beetle, *Laccophilus maculosus* Germ., to salts and alcohols. Physiological Zoology. 24: 131-140.

Hummel H.1999. Limits to adaptations in marine organisms: the model *Macoma balthica*. Recent progress in marine chemistry and ecotoxicology. Symposium of the Oceanographic Institute. Recents progres en chimie et ecotoxicologie marines. Seminaire de l'Institut oceanographique. 25(4):563-579

Iglesias JIP, Navarro E. 1991. Energetics of growth and reproduction in cockles (*Cerastoderma edule*) : seasonal and age dependent variations. Mar. Biol. 111: 359-368.
Ivlev VS.1939.Transformation of energy by acuatic animals. Int. Rev. Ges. Hydrobiol. Hydrogr. 38:449-458.

Ivelev VS. 1939. Transformation of energy by aquatic animals. Int. Rev. ges. Hydrobiol. Hidrogr. 38: 449-458.

Jansson BO. 1962. Salinity resistance and salinity preference of two aligochaetes *Akteredrilus monospermatecus* Knoller and *Marionina preclitellochaeta* sp. from the interstitial fauna of marine sandy beaches. Oikos. 13: 294-305.

Jones JRE. 1947. The reation of *Pygosteus pungitius* L. to toxic solutions. J. Exp. Biol. 24: 110-122.

Jørgensen CB. 1960. Efficiency of particle retention and rate of water transport in undisturbed lamellibranchs. Journal du Conseil. Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer 26:94- 116.

Kinne O.1970. Temperature invertebrates. En: Marine Ecology, 1(1), Wiley-Interscience. London. 407-514.

Keen MA. 1971. Sea Shells of Tropical West America. Marine mollusks from Baja California to Peru. 2nd ed. Stanford University, Stanford California. pp.1065.

Kirby-Smith WW. 1970. Growth of the scallops, *Argopecten irradians concentricus* (Say) and *Argopecten gibbus* (Linne) as influenced by food and temperature. Ph.D. Thesis. Duke University, Durham, North Carolina, 126 pp.

Kirby-Smith WW. 1972. Growth of the bay scallop: the influence of experimental water currents. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 8:7-18.

Kleiman S, Hatcher BG, Scheibling RE. 1996. Growth and content of energy reserves in juvenile sea scallops, *Placopecten magellanicus*, as a function of swimming frequency and water temperature in the laboratory. Marine biology. Berlin, Heidelberg. 124(4):629-635.

Lampert W, Loose CJ. 1992. Plankton Towers: Bridging the gap between laboratory and field experiments. Archiv fur Hydrobiol. 126 (1): 53-66

Lehninger A. 1978. Bioquímica. Ediciones Omega, Barcelona, 1117 pp.

Leyva-Valencia I, Maeda-Martínez AN, Sicard MT, Robles-Mungaray M. 2001. Halotolerance, upper thermotolerance, and optimum temperature for growth of the penshell *Atrina maura* (Sowerby, 1835) (Bivalvia:Pinnidae). J. of Shellfish Res. 20: 49-54.

Livingstone, DR, Widdows J, Fieth P. 1979. Aspects of nitrogen metabolism of the common mussel, *Mytilus edulis*: Adaptation to abrupt and fluctuating changes in salinity. Mar. Biol. 53: 41-55.

Lluch-Belda D, Hernandez-Rivas ME, Saldierna-Martinez R, Guerrero-Caballero R. 2000. Variabilidad de la temperatura superficial del mar en Bahía Magdalena, B.C.S. Oceanides, 51(1): 1-24.

Lluch-Belda D, Lluch-Cota DB, Lluch-Cota SE. 2003a. The temperate-tropical eastern Pacific ecotone: Baja California's biological transition zones. Journal of Oceanography 59: 503-513.

Lluch-Belda D, Lluch-Cota DB, Lluch-Cota SE. 2003b. Interannual variability impacts on the California Current Large Marine Ecosystem. In: Large Marine Ecosystems of the World: Trends in Exploitation, Protection and Research.(ed. by G. Hempel & K. Sherman).195-226. Elsevier, Amsterdam.

Lluch-Belda D, Lluch-Cota DB, Lluch-Cota SE. 2003c. Scales of interannual variability in the California Current System: Associated physical mechanisms and likely ecological impacts. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports (CalCOFI) 44: 76-85.

Lluch-Cota DB, Wooster WS, Hare SR. 2001. Sea surface temperature variability in coastal areas of the northeastern Pacific related to the El Niño - Southern Oscillation and the Pacific Decadal Oscillation. Geophysical Research Letters 28: 2029-2032.

- Lodeiros CJ, Rengel JJ, Guderley H, Nusetti OA, Himmelman JH. 2001. Biochemical composition and energy allocation in the tropical scallop *Lyropecten (Nodipecten) nodosus* during the months leading up to and following the development of gonads. *Aquaculture*. 199:63-72.
- Logan DI, Epifanio CE. 1978. A laboratory energy balance for the larvae and juveniles of the American lobster *Homarus americanus*. *Mar. Biol.* 47: 381-389.
- López-Sánchez JC. 2003. *Tasa de filtración y aclaramiento en la almeja mano de león (Nodipecten subnodosus Sowerby, 1835) a dos tallas, en función de la temperatura y cantidad del alimento*. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B. C. S., Mexico.
- Lora-Vilchis C, Doctor N. 2001. Evaluation of Seven Algal Diets for Spat of the Pacific Scallop *Argopecten ventricosus*. *J. of The World Aquaculture Society*. 32(2): 228-235.
- Lynn RJ, Simpson JJ. 1987. The California Current System: The Seasonal Variability of its Physical Characteristics. *J. of Geophysical Res.* 92 (12): 12,947-12,966.
- MacDonald BA, Thompson RJ. 1985. Influence of temperature and food availability on ecological energetics of the giant scallop *Placopecten magellanicus*. I. Growth rates of shell and somatic tissue. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 25:279-294.
- MacDonald BA, Thompson RJ. 1986. Influence of temperature and food availability on the ecological energetics of the giant scallop *Placopecten magellanicus*. 3. Physiological ecology, the gametogenic cycle and scope for growth. *Marine biology*. Berlin, Heidelberg. 93(1):37-48.
- Mac Donald BA, Bacon GS, Ward JE. 1998. Physiological responses of infaunal (*Mya arenaria*) and epifaunal (*Placopecten magellanicus*) bivalves to variations in the concentration and quality of suspended particles. 2. Absorption efficiency and scope for growth. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 219(1-2):127-141.
- Maeda-Martínez AN, Reynoso-Granados T, Solis-Marín F, Leija-Tristan A, Auriol-Gamboa D, Salinas-Zavala C, Lluch-Cota D, Ormart-Castro P, Félix-Pico E. 1993. A model to explain the formation of catarina scallop, *Argopecten circularis* (Sowerby, 1835), beds, in Magdalena Bay, México. *Aquaculture & Fish. Management* 24: 399-415.
- Maeda-Martínez AN, Ormart-Castro P, Mendez L, Acosta B, Sicard MT. 2000. Scallop growout using a new bottom-culture system. *Aquaculture* 189: 73-84.
- Maeda-Martínez, AN, López-Sánchez JA. 2006. Modulation of gonad maturation in the Pacific lions-paw scallop (*Nodipecten subnodosus*) under different thermal regimes. In: E. Palacios, C. Lora, A.M. Ibarra, A.N. Maeda-Martínez, I. Racotta (Eds.). *Recent Advances in Reproduction, Nutrition, and Genetics of Mollusks*. Proceedings of the International Workshop on Reproduction and Nutrition of Mollusks, La Paz, México, November, 6-9.

- Maguiño NR. 2006. Estrategias de transferencia energética reproductiva en dos cohortes de almeja mano de león, *Nodipecten subnodosus* (Sowerby, 1835), cultivadas en Laguna Manuela, Baja California, México. Tesis de maestría. Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora. 63p.
- Mao Y, Zhou Y, Yang H, Wang R. 2006. Seasonal variation in metabolism of cultured Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, in Sanggou Bay, China. *Aquaculture* 253(1-4):322-333.
- Martínez G. 1991. Seasonal variations in biochemical composition of three size classes of the Chilean scallop *Argopecten purpuratus* Lamarck, 1819. *Veliger* 34:335-343.
- Martinez G, Caceres LA, Uribe E, Diaz MA. 1995. Effects of different feeding regimens on larval growth and the energy budget of juvenile Chilean scallops, *Argopecten purpuratus* Lamarck. *Aquaculture*. 132(3-4):313-323.
- Mason KM, Shumway SE, Allen SK, Hidu H Jr. 1988a. Induced triploidy in the soft-shelled clam *Mya arenaria* : Energetic implications. *Marine biology*. Berlin, Heidelberg. 98(4):519-528.
- Mason KM, Shumway SE, Hidu H, Standish A. 1988b. Energetic implications of induced triploidy in *Mya arenaria* : The consequences of age and sexual maturity. *Journal of Shellfish Research*. 7(1):169.
- Massó-Rojas JA. 1996. Pesquería de Almeja Catarina. En: Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur, Casas-Valdez, M y Ponce-Díaz, G. (eds). 71-86pp.
- Massó-Rojas JA, Fajardo-León MC. 1996. Pesquería de la Almeja Pismo. En: Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur, Casas-Valdez, M y Ponce-Díaz, G. (eds). 59-70pp.
- Matozzo V, Dep pieri M, Moschino V, Marin MG. 2003. Evaluation of 4-nonylphenol toxicity in the clam *Tapes philippinarum*. *Environ. Res.* 91(3):179-185.
- Mendoza-Salgado RA, Lechuga-Deveze CL. 1995. Diagnóstico ambiental preliminar: Rancho Bueno, Bahía Magdalena, B.C.S. Technical Report CIBNOR, México. 78pp.
- Miyazono A, Tada M, Komatsu T. 1995. Growth of scallops (*Patinopecten yessoensis*) in sowing culture grounds around the Abashiri Bay in relation to water flow and sediment flux. *Bull.-Jap.-Soc. Fish.-Oceanogr.* 59(4): 389-397.
- Mølenberg F, Riisgård HU. 1979. Filtration rate using a new indirect technique, in thirteen species of suspension-feeding bivalves. *Mar. Biol.* 54:143-147.
- Momo F, Kowalke J, Schloss I, Mercuri G, Ferreyra G. 2002. The role of *Laternula elliptica* in the energy budget of Potter Cove (King George Island, Antarctica). *Ecological Modelling [Ecol. Model.]*. 155(1):43-51.

- Monsalvo-Spencer P, Maeda-Martínez AN, Reynoso-Granados T. 1997. Reproductive maturity and spawning induction in the catarina scallop *Argopecten ventricosus-circularis* (Sowerby II, 1842). *Journal of Shellfish Research*. 16: 67-70.
- Mottet MG. 1979. A review of the fishery biology and culture of scallops. State of Washington Department of Fisheries. Technical Report. N 39, 99pp.
- Morales-Hernández R, Cáceres-Martínez C. 1996. Pesquería de Almeja Mano de León. En: Estudio del Potencial Pesquero y Acuícola de Baja California Sur, Casas-Valdez, M y Ponce-Díaz, G. (eds). 87-100 pp.
- Navarro E, Iglesias JIP, Ortega MM, Larretxea X. 1994. The basis for a functional response to variable food quantity and quality in cockles *Cerastoderma edule* (Bivalvia: Cardiidae). *Physiological Zoology*. 67:468-496.
- Navarro E, Iglesias JIP. 1995. Energetics of reproduction related to environmental variability in bivalve molluscs. *Haliotis*. Paris. 24:43-55.
- Navarro E, Urrutia MB, Iglesias JIP, Ibarrola I. 1998. Tidal variations in feeding, absorption and scope for growth of cockles (*Cerastoderma edule*) in the Bay of Marennes-Oleron (France). *Vie Milieu*. 48(4):331-340.
- Navarro JM. 1988. The effects of salinity on the physiological ecology of *Choromytilus chorus* (Molina 1782) (Bivalvia: Mytilidae). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 122:19-33.
- Navarro JM, Clasing E, Urrutia G, Asencio G, Stead R, Herrera C. 1993. Biochemical composition and nutritive value of suspended particulate matter over a tidal flat of southern Chile. *Estuarine Coastal Shelf Science*. 37:59-73.
- Navarro JM, Gonzalez CM. 1998. Physiological responses of the Chilean scallop *Argopecten purpuratus* to decreasing salinities. *Aquaculture* 167(3-4):315-327.
- Navarro JM, Leiva GE, Martínez G, Aguilera C. 2000. Interactive effects of diet and temperature on the scope for growth of the scallop *Argopecten purpuratus* during reproductive conditioning. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 147(1):67-83.
- Navarro JM. 2001. Fisiología energética de pectínidos iberoamericanos. En: Maeda-Martínez AN. (eds). Los moluscos pectínidos de Iberoamerica: Ciencia y acuicultura. Limusa. México. Cap. 3: 61-76pp.
- Newell RIE, Johnson LG, Kofoed LH. 1977. Adjustment of energy balance in response to temperature change in *Ostrea edulis*. *Oecologia*. 30:7-110.
- Newell RC. 1979. Biology of intertidal animals. Marine Ecological Surveys Ltd., Faversham.
- Newell RIE, Bayne BL. 1980. Seasonal changes in the physiology, reproductive condition and carbohydrate content of the cockle *Cardium* (*Cerastoderma*) *edule* (Bivalvia: Cardiidae). *Mar. Biol.* 56:11-19.

Newsholme FS, Leech AR. 1983. Bioquímica médica. Ed. Interamericana, México. 804 pp.

Nieves-Soto M. 1988. *Efecto de la temperatura y la alimentación en algunos procesos fisiológicos de Atrina tuberculosa Sowerby, 1835 (Mollusca, Bivalvia) bajo condiciones de laboratorio*. Tesis de Maestría, Centro de Investigación Científica y de Estudios Superiores de Ensenada, Ensenada, México.

Nowak, S.H. 1974. A solid state temperature controller with heating and cooling control. Fish Mar. Serv. Res. Dev. Tech. Rept. 495.

Ocaño-Higuera V. 2003. Efecto de la temperatura sobre la fisiología antemortem y la bioquímica postmortem, calidad y vida de anaquel del músculo abductor, en la almeja mano de león *Nodipecten subnodosus*. Tesis de Maestría del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Hermosillo, México.

Orensaz JM. 1984. Size, environment and density: the regulation of scallop stock and its management implications. In: GS Jamieson and N Bourne (eds), North Pacific Workshop on Stock Assessment and Management of Invertebrates. Can. Sp. Publ. Fish. Aquat. Sci., 92:195-277pp.

Palacios EM. 1999. *Caracterización fisiológica del agotamiento reproductivo y optimización de la producción del camarón blanco del Pacífico Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) (Decapoda, Penaeidae) Tesis Doctoral. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B. C. S., Mexico.

Pierson WM. 1983. Utilization of eight algal species by the bay scallop, *Argopecten irradians concentricus* (Say). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 68:1-11.

Pilditch CA, Grant J. 1999. Effects of temperature fluctuations and food supply on the growth and metabolism of juvenile sea scallops (*Placopecten magellanicus*). Springer-Verlag. Marine Biology. 134: 235-248.

Ponce-Díaz G, Lluch-Cota S, Bautista-Romero J, Lluch-Belda D. 2003. Caracterización multi escala de la temperatura del mar en una zona de bancos abuloneros en Bahía Asunción, Baja California Sur, México. Ciencias Marinas. 29(3):291-303.

Ponce-Díaz G, Masso-Rojas A, Félix-Pico F, Morales-Zárate MV, Lluch-Cota SE. La Pesquería *Nodipecten* spp. Capítulo en preparación. En: Fundamentos y Técnicas de Ecofisiología Oxidativa en Organismos Acuáticos, Maeda-Martínez AN. (ed.).

Powell EN, Hofmann EE, Klinck JM, Ray SM. 1992. Modeling oyster populations. 1. A commentary on filtration rate. Is faster always better?. J. of Shellfish Res. 11(2):387-398.

Prosser CL, Brown FA. 1961. Comparative animal physiology, 2nd edition. W.B. Saunders, Philadelphia.

Racotta IS, Ramírez JL, Ibarra AM, Rodríguez-Jaramillo MC, Carreño D, Palacios E. 2003. Growth and gametogenesis in the lion's paw scallop *Nodipecten (Lyropecten) subnodosus*. *Aquaculture* 217:335-349.

Ramírez-Uribe ML. 2002. *Efecto de la concentración de partículas y de la temperatura sobre las tasas de aclaramiento y de ingestión en juveniles de almeja catarina (Argopecten ventricosus)*. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico Agropecuario No.21 de Sonora, México.

Reynolds WW. 1997. Fish orientation behavior: and electronic device for studying simultaneous responses to two variables. *J. Fisheries Res. Board Canada*. 34: 300-304.

Rocha PL, Blanco LGS. 1998. Physiological significance of behavioral hypothermia in hypoglycemic frogs (*Rana catesbeiana*). *Comparative Biochemistry and Physiology*. 119A: 957-951.

Rodhouse PG, McDonald JH, Newell RIE, Koehn RK. 1986. Gamete production, somatic growth and multiple-locus enzyme heterozygosity in *Mytilus edulis*. *Marine biology*. Berlin, Heidelberg. 90(2):209-214.

Rodríguez-Jaramillo MC, Maeda-Martínez AN, Valdéz ME, Reynoso-Granados T, Monsalvo-Spencer P, Prado-Ancona D, Cardoza-Velazco F, Robles- Mungaray M, Sicard MT. 2001. The effect of temperature on the reproductive maturity of the penshell *Atrina maura* (Sowerby, 1835) (Bivalvia:Pinnidae). *J. of Shellfish Res.* 20: 39-47.

Roe JH. 1955. The determination of sugar in blood and spinal fluid with antrone reagent. *J. Biol. Chem.* 212: 335-343.

Roldán-Carrillo L. 2001. *Efecto del flujo sobre el crecimiento, índices de condicion y contenido bioquímico en adultos de almeja catarina (Argopecten ventricosus Sowerby II, 1842)*. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B. C. S., Mexico.

Román G, Martínez G, García O, Freitas L. 2001. Reproducción. En: A. Maeda, editor. *Los moluscos pectínidos de Iberoamérica: Ciencia y Acuicultura*. Limusa. México, D.F. pp. 27-59.

Rosas C, Latournerie J, Sánchez A, Espina S. 1986. Respuestas metabólicas de *Sarotheron mossambicus* medidas experimentalmente en un gradiente térmico (Pisces: Cichlidae). *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Autónoma de México*. 13:243-250.

Rotthauwe HW. 1958. Untersuchungen zur Atmungsphysiologie und Osmoregulation bei *Mytilus edulis* mit einem kurzen Anhang Über die Blutkonzentration von *Dreissena polymorpha* in Abhängigkeit vom Elektrolytgehalt des Ausssenmediums. *VerÖffentlichungen des Instituts für Meeresforschung in Bremerhaven*. 5:143-59.

Ruiz-Verdugo CA, Racotta IS, Ibarra AM. 2001. Comparative biochemical composition in gonad and adductor muscle of triploid and diploid catarina scallop (*Argopecten ventricosus* Sowerby II, 1842). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 259:155-170.

Salazar-Virgen HS. 2004. *Efecto de la temperatura sobre la tasa rutinaria de consumo de oxígeno y el crecimiento, en juveniles de dos poblaciones de ostión japonés Crassostrea gigas (Thunberg, 1873)*. Tesis de Licenciatura, Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera, Universidad Autónoma de Nayarit, San Blas, México.

Sánchez A, Rosas C, Latourneire J, Espina S. 1984. Influencia de diferentes regímenes de temperatura sobre la asimilación, conversión alimenticia y eficiencia de crecimiento de la tilapia roja (*Sarotherodon mossambicus*). Rev. Lat. Acui. 22: 15 – 36.

Saout CC, Quere A, Donval Y, Paulet M, Samain JF. 1999. An experimental study of the combined effects of temperature and photoperiod on reproductive physiology of *Pecten maximus* from the Bay of Brest (France). Aquaculture 172:301-314.

Schlieper C. 1971. Physiology of brackish water. IN: Biology of brackish water (Remane A and Schlieper C), Wiley-Interscience, New York pp 211-350.

Schwing FB, Murphree T, deWitt L, Green PM. 2002a. The evolution of oceanic and atmospheric anomalies in the northeast Pacific during the El Niño and La Niña events of 1995–2001. Prog. Oceanogr. 54:459–491.

Schwing FB, Murphree T, Green PM. 2002b. The Northern Oscillation Index (NOI): a new climate index for the northeast Pacific. Prog. Oceanogr. 53:115-139.

Shafee MS, Conan G. 1984. Energetic parameters of a population of *Chlamys varia* (Bivalvia: Pectinidae). Marine ecology progress series. Oldendorf. 18(3):253-262.

Shafee MS, Lucas A. 1982. Seasonal Variations of the Energy Budget in Individual Animals From a Population of *Chlamys varia* (L.) Bivalvia, Pectinidae. Oceanologica Acta 5(3):331-338.

Shumway SE, Koehn RK. 1982. Oxygen consumption in the American oyster *Crassostrea virginica*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 9: 59-68.

Shumway SE. 1983. Factors affecting oxygen consumption in the coot clam *Mulinia lateralis* (Say). Ophelia 22(2):143-171.

Shumway SE, Scott TM. 1983. The effects of anoxia and hydrogen sulphide on survival, activity and metabolic rate in the coot clam, *Mulinia lateralis* (Say). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 71:135-146.

Shumway SE, Barter J, Stahlnecker J. 1988. Seasonal changes in oxygen consumption of the giant scallop, *Placopecten magellanicus* (Gmelin). J. Shellfish Res. 7: 77-82.

Shumway SE. 1991. Scallops: biology, ecology and aquaculture. Elsevier Science Publishers B.V. New York, USA. 1095 pp.

Sicard MT. 1999. *Temperatura letal superior y temperatura óptima en una población de almeja catarina (Argopecten ventricosus, Sowerby II, 1842)*. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN, La Paz, B.C.S., México.

Sicard MT, Maeda-Martínez AN, Reynoso-Granados T, Ormart- Castro P, Carvalho L. 1999. Optimum temperature for growth in the catarina scallop (*Argopecten ventricosus*, Sowerby II, 1842). *J. Shellfishs, Res.* 18 (2):383-390.

Sicard MT, Maeda-Martínez AN, Reynoso-Granados T, Ormart-Castro P, Carvalho-Saucedo L. 1999. Optimum temperature for growth in the catarina scallop (*Argopecten ventricosus*, Sowerby II, 1842). *J. of Shellfish Res.* 18: 383-390.

Silva-Loera HA. 1986. *Efecto del tamaño corporal, tensión de oxígeno y temperatura sobre la tasa de consumo de oxígeno en la escalopa Argopecten circularis (Sowerby) (Mollusca: Lamellibranchia)*. Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México.

Sivertsen G, Wallace JC, Heggberget TG. 1983. An apparatus for long term biological experiments in running water at temperatures close to freezing. *Aquacultural Engineering.* 2:279-286.

Smith TM, Reynolds RW. 2004. Improved Extended Reconstruction of SST (1854-1997). *Journal of Climate.* 17: 2466-2477.

Sobral P, Widdows J. 1997. Influence of hypoxia and anoxia on the physiological responses of the clam *Ruditapes decussatus* from southern Portugal. *Mar. Biol.* 127(3):455-461.

Sobral P, Fernández S. 2004. Respuestas fisiológicas y crecimiento potencial de *Ruditapes decussatus* en Ría Formosa, Sur de Portugal. *Scientia Marina Sci. Mar. Barc.* 68(2):219-225.

Sockton WL. 1984. The biology and ecology of the epifaunal scallop *Adamussium colbecki* on the west side of Mc Murdo Sound, Antarctica. *Mar. Biol.* 78:171-178.

Solorzano L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenylhypochlorite method. *Limnol. Oceanogr.* 14:799-800.

Sorgeloos P, Persoone G. 1972. Three simple culture devices for aquatic invertebrates and fish larvae with continuous recirculation of the medium. *Mar. Biol.* 15: 251-4.

Sorokin C. 1973. Dry weight, packed cell volume and optical density: In: Stein J (ed). *Handbook of phycological methods. Culture methods and growth measurement.* Cambridge University Press, Cambridge and New York. Pp. 321-343.

Stryer L. 1976. *Bioquímica.* Reverte. Valenzuela. 976 p.

Theede H. 1963. Experimentelle Untersuchungen über die Filtrationsleistung der Miesmuschel *Mytilus edulis* L. *Kielen Meeresforschungen,* 19:20-41.

Thomas WH, Scotten HL, Bradshaw JS. 1963. Thermal gradient incubators for small aquatic organisms. *Limnology and Oceanography.* 8: 357-359.

- Thompson R. 1984. The reproductive cycle and physiological ecology of the mussel *Mytilus edulis* in a subarctic, non-estuarine environment. *Mar. Biol.* 79:277-288.
- Thompson RJ, Newell RIE. 1985. Physiological responses to temperature in two latitudinally separated populations of the mussel *Mytilus edulis*. In: Gibbs P.E. (ed) *Proc 19th Eur mar boil Symp.* Cambridge University Press, Cambridge. pp 481-495.
- Toro J. 1985. Annual cycle and composition of the phytoplankton in the Quempillen River Estuary, Southern Chile. *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences.* 31:461-469.
- Vahl O. 1978. Seasonal changes in oxygen consumption of the Iceland scallop (*Chlamys islandica*) (Müller OF) from 70° N. *Ophelia.* 17: 143-154.
- Vahl O, Clausen B. 1980. Frequency of swimming and energy cost of byssus production in *Chlamys islandica* (O.F. Muller). *J. Cons. CIEM*, 39(1):101-103.
- Vahl O. 1981. Energy Transformations by the Iceland Scallop, *Chlamys islandica* (O.F. Muller), From 70 degree N. II. The Population Energy Budget. *J. of Exp. Mar. Biol. and Ecol.* 53(2-3): 297-303.
- Vahl O. 1984. Size-specific reproductive effort in (*Chlamys islandica*): reproductive senility or stabilizing selection?. In: Gibbs PE (ed), *Proceedings of the Nineteenth European Marine Biology Symposium.* Cambridge University Press, Plymouth/Devon, pp 521-527.
- Van Dam K. 1938. On the utilisation of oxygen and regulation of breathing in some aquatic animals. Dissertation: Drukkerij Volharding, Groningen.
- Van Dam L. 1954. On the respiration in scallops (Lamellibranchiata). *Biol. Bull. (Woods Hole).* 107:192-202.
- Van Handel E. 1965. Estimation of glycogen in small amounts of tissue. *Analytical Biochemistry.* 11:256-265.
- Van Weel PB. 1961. The comparative physiology of digestion in molluscs. *American Zoologist.* 1:245-52.
- Vélez-Barajas JA, Fajardo-León MC. 1996. Pesquería de Hacha. En: *Estudio del Potencial Pesquero y Acuicola de Baja California Sur*, Casas-Valdez, M y Ponce-Díaz, G. (eds). 101-112.
- Wada, K. T., A. Komaru, Y. Ichamura & H. Kurosaki. 1995. Spawning peak occurs during winter in the Japanese subtropical population of the pearl oyster *Pinctada fucata* (Gould, 1850). *Aquaculture* 133:207-214.
- Wang Jun, Jiang Zuhui, Tang Qisheng. 2004. Study on physiological energetics of Farrer's scallop (*Chlamys farreri*). *Mar. Fish. Res./Haiyang Shuichan Yanjiu* 25(3):46-53.

- Warren CE, Davis GE. 1967. Laboratory studies on the feeding, bioenergetics, and growth of fish. In: The Biological Basis of Freshwater Fish Production (ed.S.D. Gerking). Blackwell Scientific Publications. Oxford pp. 175-214.
- Wheaton, FW.1982. Acuacultura, diseño y construcción de sistemas. AGT Editores. México. 704 pp.
- Widdows J. 1976. Physiological adaptation of *Mytilus edulis* to cyclic temperatures. J. Comp. Physiol. 105: 115-128.
- Widdows J. 1978. Physiological Indices of Stress in *Mytilus Edulis*. J. of the Mar. Biol. Assoc. of the United Kingdom. 58:125-142
- Widdows J, Fieth P, Worrall CM. 1979. Relationships between seston, available food and feeding activity in the common mussel *Mytilus edulis*. Mar. Biol. 50: 195-207.
- Wieser E. 1973. Temperature relations of ectotherms: a speculative review. In: Wieser E. (ed) Effects of temperature on ectothermic organisms: ecological implications and mechanisms of compensation. Springer-Verlag. New York.
- Wildish DJ, Peer D. 1983. Tidal current speed and production of benthic macrofauna in the lower Bay of Fundy. Can J. Fish. Aquat. Sci., 40(Suppl.1): 309-321.
- Wildish DJ, Kristmanson DD, Hoar RL, Decoste AM, Mc Cormick SD, White W. 1987. Giant Scallop feeding and growth responses to flow. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 113:207-220.
- Wildish DJ, Saulnier AM. 1992. The effect of velocity and flow direction on the growth rate of juvenile and adult giant scallops. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 155: 133-143.
- Wildish DJ, Kristmanson DD. 1997. Benthic suspension feeders and flow. Cambridge University Press. USA. 409pp.
- Winberg GG. 1960. Rate of metabolism and food requirements of fishes. Fish. Res. Board Can. Transl. Ser. No. 194: 1-253.
- Widdows J, Fieth P, Worrall CM. 1979. Relationships between seston, available food and feeding activity in the common mussel *Mytilus Edulis*. Mar. Biol. 50:195-207.
- Winget, R. R., Mauer, D. & Anderson, L. 1973. The feasibility of closed system mariculture: preliminary experiments with crab molting. Proc. National Shellfish Assoc. 63: 88-92.
- Winter JE. 1973. The filtration rate of *Mytilus edulis* and its dependence on algal concentration, measured by a continuous automatic apparatus. Mar. Biol. 22:317-328.
- Worrall CM, Widdows J, Lowe DM. 1983. Physiological ecology of three populations of the bivalve *Scrobicularia plana*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 12:267-279.

Zhang Jihong, Fang Jianguang, Liang Fanpeng. 2002. Effects of low water temperature on the energy budget of scallop *Chlamys farreri*. J. Fish. Sci. China/Zhongguo Shuichan Kexue 9(1):48-51.

Zhou Yi, Yang Hongsheng, Zhang Fusui. 2002a. Physio-ecological characteristics of scallop *Chlamys farreri* measured by biodeposition method in situ: scope for growth and C, N and P budgets. J. Fish. Sci. China/Zhongguo Shuichan Kexue 9(2):161-166.

Zhou Yi, Mao Yuze, Yang Hongsheng, He Yichao, Zhang Fusui. 2002b. Clearance rate, ingestion rate and absorption efficiency of the scallop *Chlamys farreri* measured by in situ biodeposition method. Acta Ecol. Sin./Shengtai Xuebao 22(9):1455-1462.

APÉNDICE A

Información Técnica del Simulador Térmico Marino

Requerimientos mínimos de equipo de cómputo

CPU tipo Pentium de 200 MHz o superior
Memoria instalada de 64 Mega Bytes
Espacio de 100 Mega Bytes libres en el disco duro
Monitor SVGA con resolución mínima de 800 x 600 pixeles
Tarjeta adaptadora de video SVGA
Cable de comunicación RS232 (suministrado)
Tarjeta de red

Conexiones eléctricas

Las instalaciones eléctricas del lugar deberán contar con un centro de carga protegido con un interruptor termo magnético 2 x 60 @220VAC (de dos polos) y ser capaz de proporcionar 60 amperios continuamente sin problemas. El centro de carga debe contar con 220V monofásico, neutro y aterrizado. Se recomienda que la instalación eléctrica del lugar donde opere el equipo se realice por personal especializado para evitar riesgos y fallas.

El SITMA es suministrado por un cordón de uso rudo con 3 líneas de conducción con una clavija de tres terminales de uso pesado. Debe estar enchufado en el contacto monofásico de uso pesado del mismo tipo al de clavija.

- Fusible

0.5^a @ 250 V de fusión rápida

- Sensor de temperatura

Temperatura de almacenamiento de -10°C a 150°C
Temperatura de trabajo de 0 a 80°C
Resolución 0.1°C
Error $\pm 0.5^\circ\text{C}$

- Relevador de Alarma

Tipo de contacto, seco y mecánico
Capacidad de carga, 10 A máx @ 110VAC/100VDC
Estado de contacto, normalmente abiertos

- Conector denominado “enfriador”

Tipo de contacto, seco

Voltaje 127VAC

Capacidad máxima 10^a

- Contacto denominado “calefactor”

Tipo de contacto, seco

Voltaje 220VAC

Capacidad máxima 4 A

- Bomba de recirculación de agua

Capacidad de 1771 L/h

APÉNDICE B

Trabajos de fisiología energética por especie de moluscos bivalvos (ASFA: Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts de CSA: Cambridge Scientific Abstracts).

Especie	Factores	Autores	Total de trabajos por especie
<i>Argopecten irradians irradians</i>	Costo del esfuerzo reproductivo	Barber & Blake, 1986	1
	Fisiología reproductiva y talla	Epp <i>et al.</i> , 1988	1
<i>Argopecten purpuratus</i>	Efecto de diferentes dietas	Díaz & Martínez, 1992	6
	Efecto de diferentes regimenes alimenticios	Martinez <i>et al.</i> , 1995	
	Efecto de calidad de dietas	Farías <i>et al.</i> , 1997	
	Respuestas fisiológicas a cambios de salinidad	Navarro & Gonzalez, 1998	
	Efecto de la temperatura y dieta en el esfuerzo reproductivo	Navarro <i>et al.</i> , 2000	
	Efecto de la dieta sobre la fisiología reproductiva	Farias & Uriarte, 2001	
<i>Cerastoderma edule</i>	Balance energético, marco de crecimiento	Blanchard, 1991	4
	Flujos de materia generados por bivalvos filtradores intermareales	Blanchard & Gros, 1993	
	Efectos de variabilidad ambiental en energética reproductiva	Navarro e Iglesias, 1995	
	Variaciones mareales sobre el campo de crecimiento	Navarro <i>et al.</i> , 1998	

APÉNDICE B

Continuación...

Especie	Factores	Autores	Total de trabajos por especie
<i>Chlamys farreri</i>	Flujos de materia generados por bivalvos filtradores intermareales	Zhang <i>et al.</i> , 2002	5
	Efectos de variabilidad ambiental en energética reproductiva	Zhou <i>et al.</i> , 2002a Zhou <i>et al.</i> , 2002b	
	Variaciones mareales sobre el campo de crecimiento	Bacher <i>et al.</i> , 2003	
	Balance energético, marco de crecimiento	Wang, 2004	
<i>Chlamys islandica</i>	Costo energético del nado y de la producción de biso	Vahl & Clausen, 1980	3
	Parámetros energéticos poblacionales	Vahl, 1981	
	Respuestas energéticas del nado	Katherina <i>et al.</i> , 1999	
<i>Chlamys varia</i>	Variaciones estacionales del balance energético en individuos	Shafee & Lucas, 1982	2
	Parámetros energéticos poblacionales	Shafee & Conan, 1984	
<i>Crassostrea gigas</i>	Balance energético como herramienta para la selección de alimento	Barille <i>et al.</i> , 2003	2
	Variación estacional del metabolismo	Mao <i>et al.</i> , 2006	
<i>Crassostrea virginica</i>	Tasas de filtración y talla	Powell <i>et al.</i> , 1992	1
<i>Euvola ziczac</i>	Variación de alimento y reservas energéticas	Katherina <i>et al.</i> , 1999	1

APÉNDICE B

Continuación ...

Especie	Factores	Autores	Total de trabajos por especie
<i>Laternula elliptica</i>	Rol en el balance energético del sistema	Momo <i>et al.</i> , 2002	2
	Crecimiento y variación energética estacional	Ahn <i>et al.</i> , 2003	
<i>Macoma balthica</i>	Cambios estacionales de crecimiento y flujos energéticos	Harvey & Vincent 1990	3
	Parámetros energéticos poblacionales	Blanchard & Gros, 1993	
	Límites de adaptación	Hummel, 1999	
<i>Mercenaria mercenaria</i>	Tasas energéticas	Hibbert, 1977	2
	Efecto de oleaje	Bricelj, <i>et al.</i> , 2003	
<i>Mya arenaria</i>	Triploidía	Mason, <i>et al.</i> , 1988a Mason, <i>et al.</i> , 1988b	3
	Variaciones en la cantidad y calidad de alimento suspendido	MacDonald <i>et al.</i> , 1998	
<i>Mytilus edulis</i>	Tensión de oxígeno y salinidad	Bayne, 1975	13
	Índices fisiológicos de estrés	Widdows, 1978	
	Estrés ambiental y contaminación	Bayne <i>et al.</i> , 1979	
	Variaciones estacionales en la utilización de C y N	Hawkins & Bayne, 1985	
	Efectos de múltiples locus enzimáticos (heterocigocidad)	Rodhouse <i>et al.</i> , 1986	
	Producción de gametos, crecimiento somático y heterocigocidad en enzimas	Rodhouse <i>et al.</i> , 1986	

APÉNDICE B

Continuación...

Especie	Factores	Autores	Total de trabajos por especie
<i>Placopecten magellanicus</i>	Influencia de la disponibilidad de alimento y temperatura	MacDonald & Thompson, 1986	8
	Influencia de la calidad de alimento y la actividad de alimentación	Bacon & MacDonald, 1991	
	Marco de crecimiento en función de la dieta	Grant & Cranford, 1991	
	Efectos de la frecuencia de nado y la temperatura	Kleiman <i>et al.</i> , 1996	
	Respuesta a la concentración y calidad de partículas suspendidas	MacDonald <i>et al.</i> , 1998	
	Impactos de un nuevo combustible en termoeléctricas	Armsworthy <i>et al.</i> , 1999	
	Impactos de fluidos causados por perforación petrolera	Cranford <i>et al.</i> , 1999	
	Reservas y actividad en función de las variaciones de alimento	Katherina <i>et al.</i> , 1999	
	Parámetros energéticos poblacionales	Worrall <i>et al.</i> , 1983	
	Estudio estacional en relación a la temperatura	Guerreiro, 1995	
<i>Scrobicularia plana</i>			2
<i>Ruditapes decussatus</i>	Exposición a monio	Sobral & Fernández, 2004	5

APÉNDICE B

Continuación...

Especie	Factores	Autores	Total de trabajos por especie
<i>Tapes philippinarum</i>	Toxicidad de 4-nonilfenol	Matozzo <i>et al.</i> , 2003	
<i>Tapes philippinarum</i>	Infecciones y parámetros para evaluar estrés	Da Ros <i>et al.</i> , 1998	
<i>Ruditapes decussatus</i>	Influencia de hipoxia y anoxia	Sobral & Widdows, 1997	
<i>Tapes decussatus</i>	Energética reproductiva en función de variabilidad ambiental	Navarro e Iglesias, 1995	
<i>Venus verrucosa</i>	Contaminantes (exposición a petróleo)	Axiak, 1987a Axiak, 1987b	2

APÉNDICE C

Estudios realizados en pectínidos de las tasas fisiológicas implicadas en la ecuación de balance energético en relación a diferentes factores.

Variable Fisiológica	Factor relacionado	Referencias
Tasa de Ingestión	La edad y talla	Kirby-Smith, 1970 Bayne, 1976a Mølenberg & Riisgård, 1979 Bayne y Newell, 1983 MacDonald & Thompson, 1986 Shumway, 1991
	Cantidad de alimento	Coughlan, 1969 Winter, 1973 López-Sánchez, 2003
	Tipo de alimento	Vahl, 1978 Orensaz, 1984 Sockton, 1984 MacDonald & Thompson, 1985 Bricelj & Shumway 1991 Farías <i>et al.</i> , 1997 Navarro <i>et al.</i> , 2000
	Temperatura	Albentosa <i>et al.</i> , 1994 Sicard <i>et al.</i> , 1999 Ramírez, 2002 González-Estrada, 2003 López-Sánchez, 2003
	Tensión de Oxígeno	Bayne, 1971; 1975
	Salinidad	Theede, 1963 Schlieper, 1971
	Flujo de agua	Clareboudt <i>et al.</i> , 1994 Eckman <i>et al.</i> , 1989 García-Esquivel <i>et al.</i> , 2000 Kirby-Smith, 1972 Miyazono <i>et al.</i> , 1995 Roldán-Carrillo, 2001 Wildish <i>et al.</i> , 1987 Wildish & Peer, 1983 Wildish & Kristmanson, 1997
Tasa Respiratoria	Talla	Hemmingsen, 1960 Bayne & Newell, 1983 Silva-Loera, 1986 Shumway, 1991

APÉNDICE C

Continuación...

Variable Fisiológica	Factor relacionado	Referencias
Tasa Respiratoria	Estado reproductivo	Bricelj <i>et al.</i> , 1987 Shumway <i>et al.</i> , 1988 Vahl, 1978, 1984
	Temperatura	Weiser, 1973 Newell <i>et al.</i> , 1977 Newell, 1979 Newell & Bayne, 1980 Shumway & Koehn 1982 Worrall <i>et al.</i> , 1983 Thompson, 1984 Thomson & Newell, 1985 Body <i>et al.</i> , 1986 Silva-Loera, 1986 Bridcelj <i>et al.</i> , 1987 Goulletquer <i>et al.</i> , 1989 Iglesias & Navarro, 1991 Alvarez-Jorna, 1995 Sicard <i>et al.</i> , 1999 González-Estrada, 2003
	Ración alimenticia	Bayne, 1975 Sicard <i>et al.</i> , 1999
	Tensión de oxígeno	Van Dam, 1938, 1954 Garder & Eliassen, 1954 Rotthauwe, 1958 Prosser & Brown, 1961 Bayne, 1971, 1973 Brand & Roberts, 1973 Shumway, 1983 Shumway & Scott, 1983 Silva-Loera, 1986 Sicard <i>et al.</i> , 1999
	Salinidad	Navarro & González, 1998
Eficiencia y Tasa de Absorción	Época del año	Toro 1985 Navarro <i>et al.</i> , 1993
	Concentración de partículas	Van Weel, 1961 Widdows <i>et al.</i> , 1979

APÉNDICE C

Continuación...

Variable Fisiológica	Factor relacionado	Referencias
Tasa de Absorción	Calidad de dieta	Epifanio, 1979; 1983 Bricelj & Shumway, 1991 Navarro <i>et al.</i> , 1994 Farías <i>et al.</i> , 1977 Navarro <i>et al.</i> , 2000
	Temperatura	Hastings y Dickie, 1972 Brett, 1979 Navarro <i>et al.</i> , 2000 González-Estrada, 2003
	Salinidad	Pierson, 1983 Navarro, 1988 Navarro & González, 1998
Tasa de excreción	Talla	Bayne, 1973
	Calidad de la dieta y estrés	Hawkins y Bayne, 1991
	Temperatura y época del año	Bayne, 1973
	Estado reproductivo	Navarro <i>et al.</i> , 2000
	Cambios en el metabolismo de nutrientes	Ansell & Sivadas, 1973 Bayne <i>et al.</i> , 1976a Emerson, 1969
	Salinidad	Bayne, 1975 Livingstone <i>et al.</i> , 1979 Navarro y González, 1998
Crecimiento	Temperatura	Broom & Manson, 1978 Bayne & Newell, 1983 Orensaz, 1984 Sockton, 1984 MacDonald & Thompson, 1985 Shumway, 1991 Sicard <i>et al.</i> , 1999 González-Estrada, 2003

Frequent monitoring of temperature: an essential requirement for site selection in bivalve aquaculture in tropical–temperate transition zones

María Teresa Sicard¹, Alfonso N Maeda-Martínez¹, Salvador E Lluch-Cota¹, Cesar Lodeiros², Lucelly M Roldán-Carrillo¹ & Roberto Mendoza-Alfaro³

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), La Paz, B.C.S., México

²Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná, Sucre, Venezuela

³Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México

Correspondence: A N Maeda-Martínez, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), Mar Bermejo 195, Col. Playa Palo de Santa Rita, 23090 La Paz, B.C.S., México. E-mail: amaeda04@cibnor.mx

Abstract

Frequent monitoring of temperature (FMT) for over 1 year at two aquaculture sites in the western Baja California peninsula was analysed in terms of hourly, daily and monthly variability, and with this information, temperature-change indices were calculated. These data were contrasted against a long-term series from a global database (Extended Reconstruction of Sea Surface Temperature (ERSST)) to evaluate whether these could substitute for FMT. The compatibility of species requirements with the thermal conditions was evaluated by comparing the temperature frequency distributions from the two FMTs, with the optimum and lethal temperature information available on five bivalve species of aquacultural interest. We concluded that there was no correlation between ERSST and FMT because the former underestimates the amplitude of real temperature fluctuations and exhibits a different pattern of variation during the year. Therefore, FMT was needed for a correct selection of an aquaculture site for bivalves. The FMT indicated high temperature variability at both sites studied on different time scales, with the site located at lower latitude (Rancho Bueno) warmer and with a higher variability than Laguna Manuela. Contrasting these results with optimum and lethal temperature values of bivalve species, it was possible to find the ideal site, for temperature, for culturing the species, taking into account the variability associated with large-scale phenomena.

Keywords: LD₅₀, temperature, oyster, scallop, pen shell

Introduction

Site selection is a key factor in any successful bivalve aquaculture operation. In new ventures, one criterion followed by aquaculturists is to verify the presence of the target species in the area, and then the decision may be further based on results of preliminary growout experiments performed at the site for short periods. However, in this site selection process, the importance of climate variability is frequently neglected, with catastrophic results (Lechuga-Devéze, Morquecho-Escamilla, Reyes-Salinas & Hernández-Alfonso 2000; Carvalho-Saucedo 2003). In tropical–temperate transitional zones like those in the western Baja California peninsula (Lluch-Belda, Lluch-Cota & Lluch-Cota 2003a), Peru, Japan and Bengal (Olson 2001), strong climate fluctuations occur on many time scales, hourly, daily, seasonally (Ponce-Díaz, Lluch-Cota, Bautista-Romero & Lluch-Belda 2003), interannually (i.e. ENSO; Lluch-Belda, Lluch-Cota & Lluch-Cota 2003b, 2003c) and interdecadally (Lluch-Cota, Wooster & Hare 2001), resulting in highly variable biophysical settings including temperature and seston quality and concentration, which are the most important factors affecting the physiology of the organisms (Lodeiros, Maeda-Martínez, Freitas, Uribe, Lluch-Cota & Sicard 2001). In the western Baja California peninsula, seasonal climate variations result from the interaction of the California Current during winter (Álvarez-Borrego, Galindo-Bect & Chee-Barragán 1975; Álvarez-Borrego & Álvarez-Borrego 1982), and the tropical North Equatorial Countercurrent during summer (Lluch-Belda *et al.* 2003a).

For evaluating potential aquaculture sites, an alternative for obtaining thermal data is accessing public databases such as satellite-derived databases (Smith 1992), the Comprehensive Ocean–Atmosphere Data Set (COADS; Mendelssohn & Roy 1996) or the Extended Reconstruction of Sea Surface Temperature (ERSST; Smith & Reynolds 2004), which provide information at different time and space resolutions. However, because of the influence of small-scale currents, bathymetry, land–sea interaction and other factors, these data may not reflect the conditions occurring at specific coastal locations. Carvalho-Saucedo (2003), in an attempt to explain mass mortalities of *Crassostrea gigas* in northwestern México, documented large daily temperature fluctuations at an aquaculture site in Laguna San Ignacio (between 26°43' and 26°88'N and 113°08' and 113°16'W) based on recordings of frequent monitoring of temperature (FMT), which could not be observed in monthly resolution global databases.

Another important issue in site selection is the knowledge of the physiological constraints and preferences of target species to important variables (e.g. temperature). Of the 54 native species of molluscs distributed along the Pacific coast of México (Baquero 1984) regarded as good candidates for aquaculture, only four native species (*Argopecten ventricosus*, *Nodipecten subnodosus*, *Atrina maura* and *A. tuberculosa*) and the introduced Pacific oyster (*C. gigas*) have been the subject of ecophysiological studies for the determination of optimum temperatures for growth (temperature value or range, where the growth rate of a given species is maximum) and their upper and lower thermal limits (Nieves-Soto 1988; Bougrier, Geairon, Deslous-Paoli, Bacher & Jonquieres 1995; Monsalvo-Spencer, Maeda-Martínez & Reynoso-Granados 1997; Sicard 1999; Sicard, Maeda-Martínez, Reynoso-Granados, Ormart-Castro & Carvalho-Saucedo 1999; Leyva-Valencia, Maeda-Martínez, Sicard & Robles-Mungaray 2001; Rodríguez-Jaramillo, Maeda-Martínez, Vadéz, Reynoso-Granados, Monsalvo-Spencer, Prado-Ancona, Cardoza-Velazco, Robles-Mungaray & Sicard 2001; Carvalho-Saucedo 2003; González-Estrada 2003; Salazar-Virgen 2004). Optimum temperatures for growth have been determined in the laboratory by measuring growth rates in long-term experiments, or by estimating several physiological indices like scope for activity (Fry 1947), scope for growth (Warren & Davis 1967) and irrigation efficiency (Jørgensen 1960) at different temperatures. The upper and lower thermal tolerances have been estimated using the

lethal-dose method (LD_{50}), at different exposure times (usually 96 h).

The resolution of FMT vs. ERSST data series was compared to evaluate their use in site selection for mollusc aquaculture. For this, we analysed as examples two FMT data series lasting for more than 1 year at two aquaculture sites in the western Baja California peninsula, and contrasted the FMT data with those from a long-term series from a global database for the same sites. We took the most reliable data series (FMT), and plotted temperature frequency distributions, together with the optimum and lethal temperature information available on five bivalve species of aquacultural interest in México, to determine the best match between species tolerances and requirements, with environmental thermal variability.

Material and methods

One digital temperature recorder (model WTA32-5+37; Onset Computer Corp., Bourne, MA, USA) was deployed at each of the two study sites for at least 1 year (Table 1). The recorders were programmed to record the water temperature at 0.5 h intervals. Recordings were downloaded to a computer, processed for outliers and backed up by the Data Management Laboratory at Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) for later inclusion into a public access database (not yet available). We also included in the analysis data from the NOAA NCDC ERSST V. 2 database as available from the IRI/LDEO Climate Data Library website; <http://iridl.ldeo.columbia.edu>. ERSST was recently built by Smith and Reynolds (2004), using improved statistical methods on the most recent available COADS. This database has time coverage of more than a century, and is available for the entire globe as monthly 2° latitude by 2° longitude matrices. For our work, we selected the boxes corresponding to the two study sites for the period 1903–2004 centred at 22°N, 115°W and 28°N, 112°W.

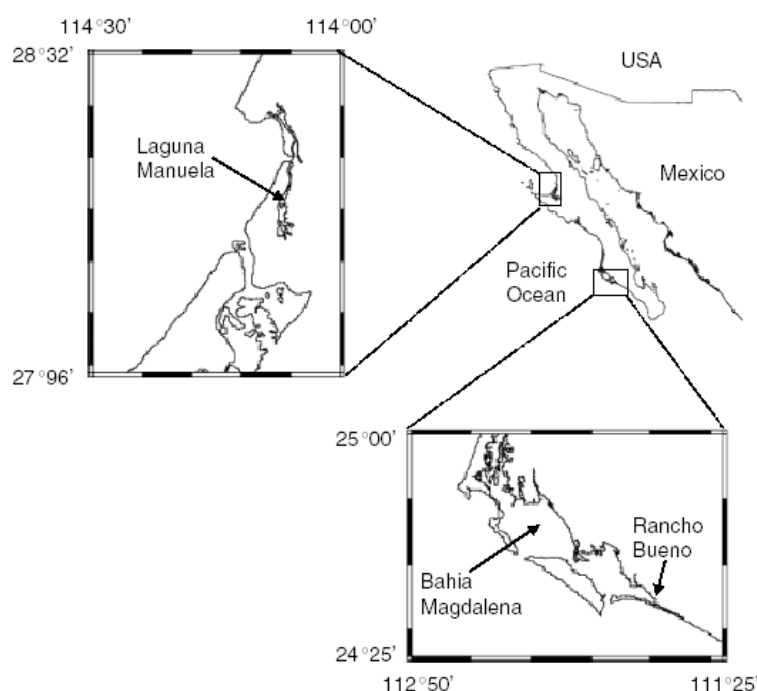
Study sites

The study sites (Laguna Manuela and Rancho Bueno; Fig. 1) were selected because these reflect the temperature conditions likely to be found in most potential aquaculture sites along the southern half of the Baja California Peninsula. Laguna Manuela is a coastal lagoon 40 km north of Guerrero Negro, México. This is a shallow irregular lagoon nearly

Table 1 Results from the analyses of the frequent monitoring of temperature (FMT) at Laguna Manuela and Rancho Bueno (western Baja California peninsula, Mexico) and the corresponding Extended Reconstruction of Sea Surface Temperature (ERSST) boxes

	Laguna Manuela		Rancho Bueno	
	FMT	ERSST	FMT	ERSST
Record span	12/2001–03/2004	1903–2004	02/2001–05/2002	1903–2004
Data gaps	12/2002–02/2003, 12/2003	–	–	–
Average temperature (°C) \pm sd	19.38 \pm 2.98	18.18 \pm 2.76	23.02 \pm 3.35	22.44 \pm 1.81
Maximum temperature (°C)	30.27	22.95	31.58	28.74
Minimum temperature (°C)	10.71	14.17	16.31	16.96
Temperature range (°C)	19.56	8.78	15.27	11.78
Warmest month	September	September	August	September
Coldest month	February	March	December	April

SD, standard deviation.

**Figure 1** Geographic locations of the thermographs for frequent monitoring of temperature at Laguna Manuela and Rancho Bueno, Baja California Sur, México.

20 km long by 3 km wide, with a total surface of about 5 km². Depths range between 3 and 6 m in most of the area, and there is a permanent water exchange with the Pacific Ocean through two shallow mouths. Current aquaculture activities in the lagoon include the cultivation of the Pacific oyster (*C. gigas*) and the giant lion's-paw scallop (*N. subnodosus*). The recorder was tied to the steel structure of one of the bottom oyster racks, at a depth of 1.9 m below the mean sea level (28°08'13.6"N – 114°04'18.9"W).

Rancho Bueno is an 8 km long by 0.5 km wide channel at the southern tip of Bahia Magdalena, 170 km from La Paz, México. Depths are less than 5 m with irregular bathymetry, and hydrodynamics are dominated by strong tidal currents associated with a 2.25 m tidal range (Mendoza-Salgado & Lechuga-Devéze 1995). Because of the strong currents and great abundance of phytoplankton, Rancho Bueno has been regarded as an adequate site for bivalve aquaculture (Maeda-Martínez, Ormart-Castro,

Méndez, Acosta & Sicard 2000). In this place, several bivalve species have been successfully cultured, including the catarina scallop (*A. ventricosus*), pearl oyster (*Pteria sterna*), penshell (*A. maura*) and the Pacific oyster (*C. gigas*). The logger was tied to a rock and later deployed at 2 m depth at a site (24°18'47.0"N – 111°24'15.7"W) close to the bottom cultures of oyster and catarina scallop.

Data analysis

From the temperature data (FMT and ERSST), we computed the average, maximum and minimum temperatures for the entire period and for each month of the series. We then averaged repeated months (i.e. all Januaries and all Februaries, and so on) to generate a climatology (even when in some cases we only recorded 1 month). From the annual cycles, we identified the warmest and coldest months of the year and estimated the annual amplitude as the difference between the warmest and coldest months. For ERSST, only the average and maximum monthly change rates were computed. Monthly temperature averages from both data sources were plotted together for comparison.

The ERSST data were also processed for plotting purposes by computing monthly anomalies as devia-

tions from the climatology through the entire period (i.e. January 1980 minus the average of all Januaries from 1903 to 2004), and we also estimated 11 month moving averages. We created two new variables for each recorder series: an hourly change rate (absolute temperature differences between consecutive hours at each time step), and similarly the daily change rate (differences between the maximum and minimum values within 12 h windows). From there, we estimated the frequency distribution of values in the temperature domain for each location.

Finally, to determine the potential of a site in terms of temperature as a place for culturing a given mollusc species, FMT data were plotted in terms of frequency, obtaining the distributions at both sites, together with the optimum and lethal values of temperature (from the literature), and the range of temperatures studied for five mollusc species.

Results

In Laguna Manuela, FMT was recorded for 24 months from December 2001 to March 2004, with a 3 month gap from December 2002 to February 2003 and one gap in December 2003 (Table 1, Fig. 2). In Rancho Bueno, FMT was recorded for 15 months without gaps, from February 2001 to May 2002

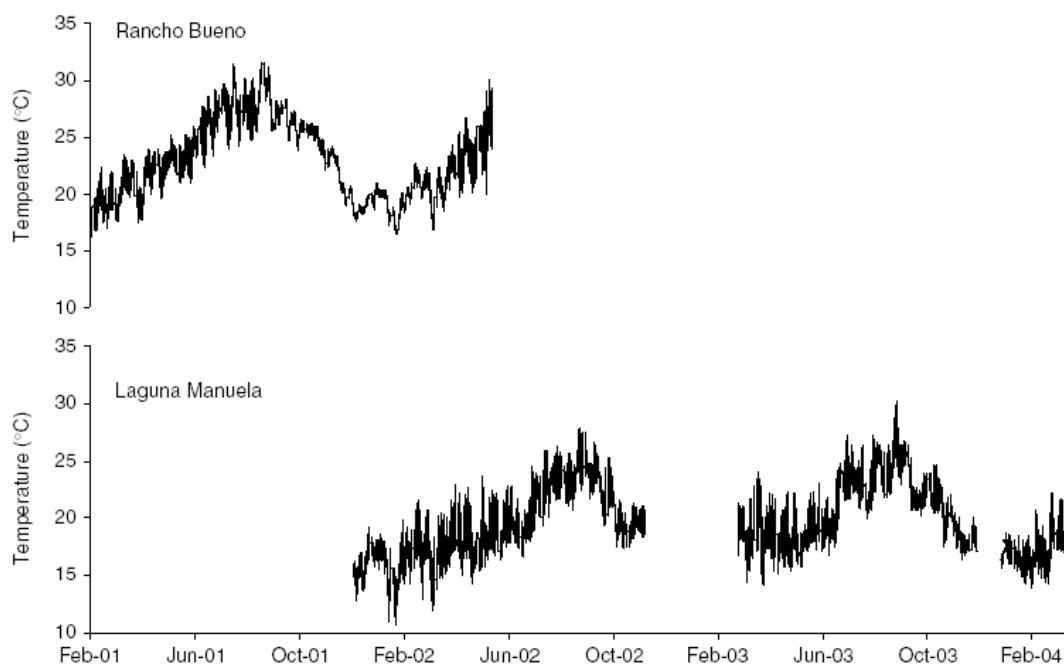


Figure 2 Raw data from the frequent monitoring of temperature installed at Rancho Bueno and Laguna Manuela.

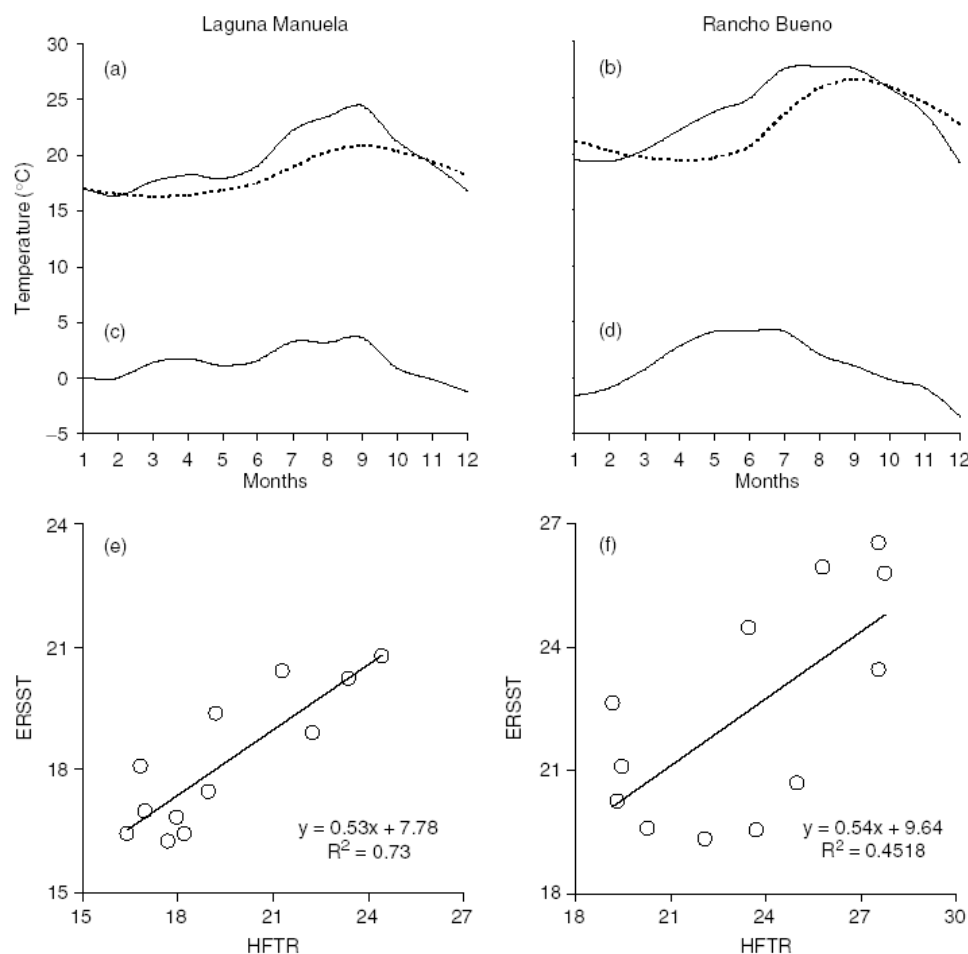


Figure 3 Average monthly temperatures from Laguna Manuela (a) and Rancho Bueno (b) for the frequent monitoring of temperature (FMT; solid line) and the corresponding Extended Reconstruction of Sea Surface Temperature (ERSST) box (dashed line). Differences between FMT and ERSST at Laguna Manuela (c) and Rancho Bueno (d) are also shown, together with a regression analysis of both databases (e, f).

(Fig. 2). From Table 1, differences between sites of average (3.64 °C), maximum (1.31 °C) and minimum (5.6 °C) temperatures were found. These were higher at Rancho Bueno, a site located at a more southerly latitude than Laguna Manuela. On comparing average FMT values with those from their corresponding ERSST boxes (Fig. 3a and b), values of the former series were some degrees (max 4 °C) higher (Fig. 3c and d) than the latter in Laguna Manuela (from February to November) and Rancho Bueno (February to October). However, the FMT was lower than ERSST in December in Laguna Manuela and for 3 months in Rancho Bueno (January, November and Decem-

ber). Regression analyses (Fig. 3e and f) between FMT and ERSST were not significant at $P > 0.05$. Comparing the maximum temperature values of Table 1, FMT was 7 and 3 °C higher than ERSST in Laguna Manuela and Rancho Bueno. Conversely, there were also differences on comparing the minimum values, but here the ERSST values were higher than the FMT at both sites.

Maximum amplitudes calculated as the difference between maximum and minimum values were also different between sites and data sets for the whole series. A higher FMT amplitude was found at Laguna Manuela (19.56 °C) than at Rancho Bueno (15.27 °C),

Figure 4 Frequency distribution of hourly (a) and daily (b) change rates of temperature at Laguna Manuela (dashed lines) and Rancho Bueno (solid lines).

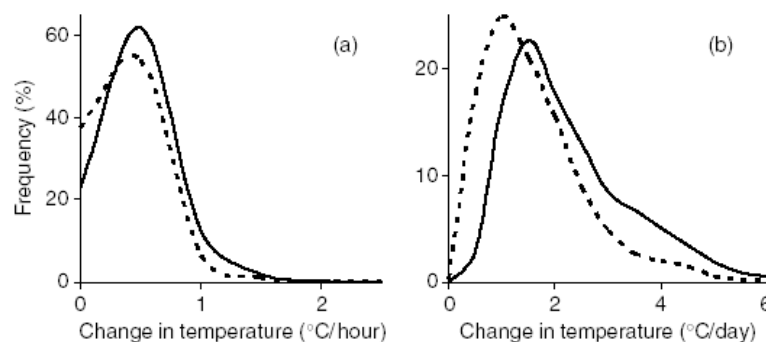
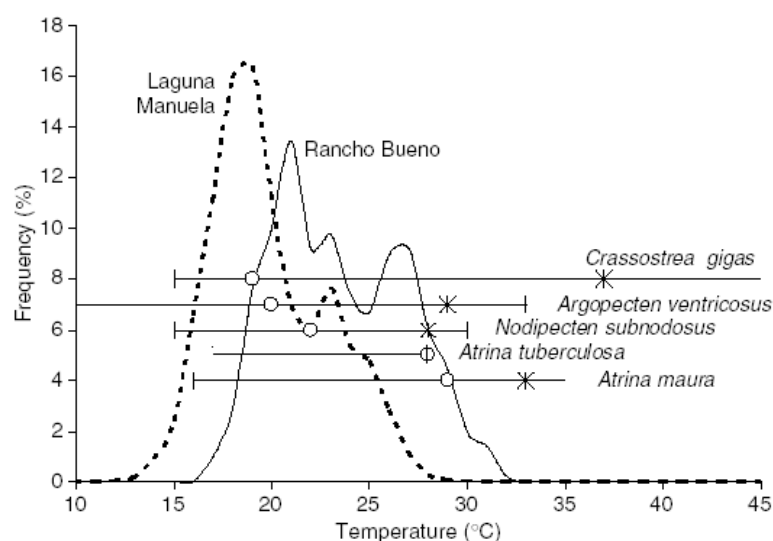


Figure 5 Temperature-dependent frequency distribution (%) for the raw data from the frequent monitoring of temperature at Laguna Manuela (dashed line) and Rancho Bueno (solid line), and representation of eco-physiological measurements for the five selected bivalve species of aquacultural interest; horizontal lines with vertical end lines indicate the temperature ranges studied in laboratory experiments, the open circle the optimum temperature for growth and crosses the upper lethal temperatures of the species.



but in turn, both amplitudes were higher than those found in the ERSST records (8.78 and 11.78 °C). Annually, both databases agreed that the warmest month at Laguna Manuela was September, but disagreed on the coldest month: February for FMT and March for ERSST. Similarly, the warmest month at Rancho Bueno was August according to FMT, but September according to ERSST. For the coldest month at Rancho Bueno, a larger discrepancy was found. Here, FMT indicated December and ERSST April.

The rate of temperature change affects the physiology and survival of poikilotherm organisms. In Fig. 4, the frequency of FMT temperature changes, hourly and daily, is plotted. A similar pattern was observed at both places but Rancho Bueno showed slightly higher change rates. This Figure (Fig. 4a) shows that nearly 60% of the hourly changes were about 0.6 °C h^{-1} at both places, but there were a certain percentage of changes of 1.5 °C h^{-1} . This analysis on

a daily basis (Fig. 4b) shows that more than 20% of the changes varied on the order of $1.5\text{--}2.0\text{ °C day}^{-1}$ at both places, but at least 2% of these were 5 °C day^{-1} at Rancho Bueno.

Discussion

High temperature variability at both sites was found at different time scales. Rancho Bueno was warmer with a greater variability than Laguna Manuela. When the FMTs were compared with ERSST data, we found that there was no significant correlation ($P > 0.05$) between databases, and that ERSST underestimated real temperature fluctuations in amplitude and had a different pattern of variation during the year. Therefore, FMTs are needed for a correct evaluation of potential sites. To determine the potential of a site in terms of temperature as a place for culturing a given mollusc species, it is necessary (a) to test how

closely is the optimum temperature reached for growth of the species from the distribution of temperatures occurring at a site during a year, (b) whether the tolerance of the species fits within the range of temperature at the site and (c) whether the temperature-change rates negatively affect the species. In Fig. 5, the frequency distribution of temperature at both sites, together with the optimum temperature for growth and the upper temperature tolerance of several species (Table 2), shows that Laguna Manuela is a good place for *C. gigas*, *A. ventricosus* and *N. subnodosus* aquaculture. Their optimum temperature for growth closely agrees with the maximum frequency of the temperature recorded there. However, *C. gigas* would be cultured at Rancho Bueno under suboptimal conditions during most of the year, probably affecting growth rate and quality. The Rancho Bueno site, however, is amenable to grow the rest of native bivalves studied, except the giant lion's-paw (*N. subnodosus*), as temperature exceeded the upper lethal limits of the species. This scallop is the most susceptible species to high temperature of all species studied with an LD₅₀ of 28 °C, but this matches with the upper limit of the frequency distribution of temperature at Laguna Manuela. This means that Laguna Manuela is an ideal place to grow this scallop. However, at Rancho Bueno, 14% of temperatures will surpass the upper limit of the species, explaining those mortalities ranging from 3% to > 50% that occurred in the same species and in the same bay where Rancho Bueno is located (Bahía Magdalena) (Koch, Mazón-Suástegui, Sinsal, Robles-Mungaray & Dunn 2005). The same situation is found for the catarina scallop (*A. ventricosus*) at Rancho Bueno, but here only 7% of the data surpassed the tolerance limit (29 °C) of the species. This percentage does not seem limiting as demonstrated in a commercial aquaculture project on this scallop that successfully produced more than 20 t of meat with negligible mortality (Maeda-Martínez *et al.* 2000). The upper thermal limits of the penshell (*A. maura*) and the Pacific oyster (*C. gigas*) are several degrees higher than the temperature distributions at both sites, and we then assume that these species can be safely cultured there. However, care must be exercised when considering the typical interannual variations in temperature found in tropical–temperate transitional zones. In Fig. 6a, the sea surface temperature (SST) anomalies recorded in the 2° × 2° boxes at Laguna Manuela and Rancho Bueno, from 1903 to 2004, are shown. Here, is evident that several warm (El Niño) events occurred (1958, 1972, 1982/1983 and 1997/1998). Dur-

ing such years, daily fluctuations are expected to be smaller but extreme values can be several degrees larger (Ponce-Díaz *et al.* 2003). Frequency temperature distributions of Fig. 5 could be shifted several degrees to the right as our FMT corresponds to a normal period (Fig. 6b), and therefore the upper tolerance of species like scallops would be exceeded even at the coldest site studied (Laguna Manuela). For instance, Ponce-Díaz *et al.* (2003), when using temperature recorders, reported an increase of 6 °C during the strong El Niño of 1997–1998 in Bahía Asunción, located 110 km south of Laguna Manuela. It must be considered, however, that the LD₅₀ method used for upper thermotolerance determinations is just a standardized indicator that may overestimate the limits. In the LD₅₀ method, the organisms are exposed to acute temperature shocks from the acclimation temperature to the test temperature, and are held at such temperatures for 96 h. These conditions are not likely to occur in the field. From the upper lethal limits of the penshell (*A. maura*), this organism would seem to be an excellent alternative for aquaculture in northwestern México and other tropical regions.

It is interesting that the interval between optimum and upper lethal temperatures in the Pacific oyster is extremely high (18.5 °C) when compared with those for catarina and giant lion's-paw scallops and the penshell *A. maura* (9, 9.4 and 4.2 °C respectively). This probably explains the cosmopolitan distribution of *C. gigas*.

The limited ecophysiological information of native species and of FMT data at the potential sites could be the cause for the slow growth of a mollusc aquaculture industry in México, despite the great efforts made by the government, research institutions, companies and individuals. Both types of studies are needed to find the correct match between optimum and tolerance limits of mollusc species with FMT data at potential sites, always taking into account the variability associated with large-scale phenomena. Finally, in this paper, we addressed the importance of temperature on site selection, but other factors such as seston abundance and quality, salinity, currents and dissolved oxygen (Lodeiros *et al.* 2001) have to be considered in this task. Although these factors exhibit some fluctuations in the western Baja California peninsula, none of them seem to play such an important role as a potential limiting factor for bivalve aquaculture as does temperature. More research is needed to determine the combined effect of these factors with temperature.

Table 2 Laboratory estimations of optimum temperature for growth and temperature tolerances of selected bivalves of Baja California and Baja California Sur, México

Species	Stage	Shell height or length (mm)	Method	Thermal range studied (°C)	Optimum temperature for growth (°C)	Acclimation temperature (°C)	Thermotolerance		References
							Minimum (°C)	Maximum (°C)	
<i>Crassostrea gigas</i>	Juvenile	10.0	LD ₅₀ -96h	30–45	–	15	–	32.5	Carvalho-Saucedo (2003)
					–	22	–	37.5	
					–	28	–	37.5	
<i>Argopecten ventricosus</i>	Juvenile	10.0	Growth	15–30	18	15–30	–	–	Salazar-Virgen (2004)
	Juvenile to adult		Clearance rates	5–32	19	5–32	–	–	Bougrier <i>et al.</i> (1995)
	Juvenile	22.3	Growth rates	20–28	20	20–28	–	–	Monsalvo-Spencer <i>et al.</i> (1997)
	Juvenile	18.1	LD ₅₀ -96h	16–33	–	19	–	29	Stcard (1999)
	Adults	42.5	LD ₅₀ -96h	16–33	–	19	–	29	
<i>Nodipecten subnodosus</i>	Juvenile	10.0	Scope for activity, irrigation efficiency, growth	12–28	19	12–28	–	–	Stcard <i>et al.</i> (1999)
	Juvenile	22.5	VO ₂ uptake	10–30	20	–	–	–	
	Adults	48.4	VO ₂ uptake	10–30	20	–	–	–	
	Juvenile	72.9	LD ₅₀ -96h	15–30	–	15	5.1	27.6	Silva-Loera (1986)
					–	18	7.5	28.1	González-Estrada (2003)
<i>Atrina tuberculosa</i> <i>A. maura</i>	Juvenile	72.9	Scope for growth, irrigation efficiency, growth	15–30	22	15–30	–	–	
					–	22	7.5	28.0	
					–	26	7.5	28.5	
					–	30	12.5	31.4	
					–	15–30	< 3	32	
<i>Atrina tuberculosa</i> <i>A. maura</i>	Adult	190.0	Gradual change	15–30	–	15–30	–	–	Nieves-Soto (1988)
	Juvenile	23.0	Scope for growth	17–28	28	17–28	–	–	Leyva-Valencia <i>et al.</i> (2001)
	Juvenile	23.0	LD ₅₀ -96h	19–35	–	22	–	33.2	
<i>Atrina tuberculosa</i> <i>A. maura</i>	Juvenile	23.0	Scope for activity, irrigation efficiency, growth	16–29	29	16–29	–	–	
	Adult	98.0	Histology, aiming for broodstock maturation	20–30	20	20–30	–	–	Rodríguez-Jaramillo <i>et al.</i> (2001)

LD₅₀ -96 h, median lethal temperature at 96 h; VO₂, oxygen uptake.

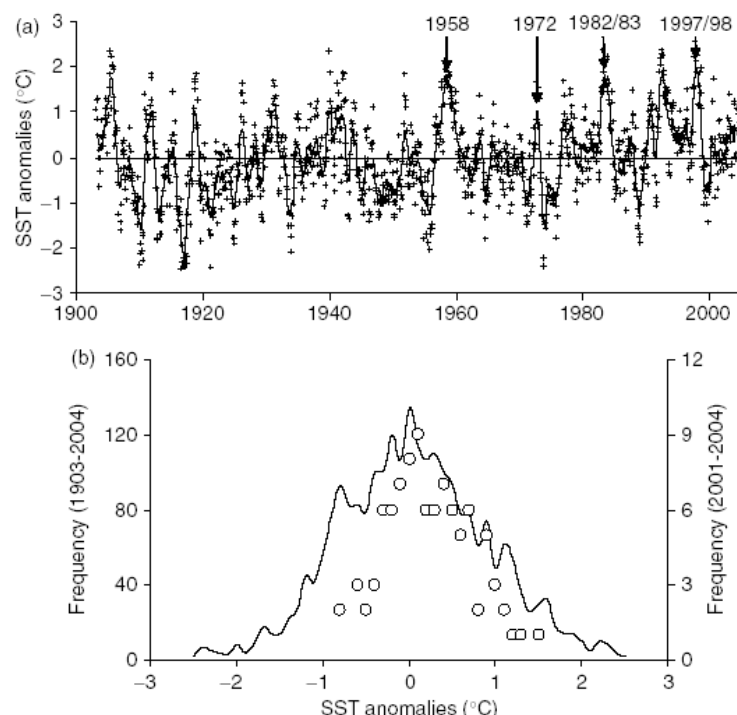


Figure 6 Sea surface temperature (SST) anomaly time-series for the Extended Reconstruction of Sea Surface Temperature (ERSST) $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ boxes off Laguna Manuela (centered at 115°W and 28°N , dots) and Rancho Bueno (centred at 112°W and 24°N , crosses), and smoothed series from the average of the two boxes' series (line) (a). The main extreme warm events of ENSO occurring during the last 50 years are shown (Schwing, Murphree & Green 2002). Frequency distribution of ERSST temperature anomalies data for the entire period (1903–2004) and those corresponding to the 2001–2004 period (open circles) (b).

Acknowledgments

The authors express their gratitude to Marimex del Pacífico S.A. de CV and Cultemar S.A. de CV for kindly managing and securing the temperature recorders in their mollusc farms. Thanks are due to Dr David Raúl López-Aguilar for providing all facilities at CIBNOR's Guerrero Negro Unit, and to Fabián Viñeira who kindly provided assistance in the field. This research was supported by the National Council for Science and Technology (CONACYT Project G33 593-B) (MTS holds a CONACYT scholarship No. 163478).

References

- Álvarez-Borrego J.A. & Álvarez-Borrego S. (1982) Temporal and spatial variability of temperature in two coastal lagoons. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports (CalCOFI)* **23**, 188–197.
- Álvarez-Borrego S., Galindo-Bect L.A. & Chee-Barragán A. (1975) Características hidroquímicas de Bahía Magdalena, B.C.S. *Ciencias Marinas* **2**, 94–110.
- Baqueiro C.E. (1984) Status of molluscan aquaculture on the pacific coast of Mexico. *Aquaculture* **39**, 83–93.
- Bougrier S., Geairon P., Deslous-Paoli J.M., Bacher C. & Jonquieres G. (1995) Allometric relationships and effects of temperature on clearance and oxygen consumption rates of *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Aquaculture* **134**, 143–154.
- Carvalho-Saucedo L. (2003) Temperatura letal superior en dos poblaciones de juveniles de ostión japonés *Crassostrea gigas*. Masters thesis, Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar, IPN, La Paz, México, 68pp.
- Fry F.E.J. (1947) The aquatic respiration of fish. In: *The Physiology of Fishes* (ed. by M.E. Brown), pp. 1–63. Academic Press, New York, USA.
- González-Estrada E. (2003) Temperaturas letales y temperatura óptima para crecimiento en una población de almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus* Sowerby, 1835). Masters thesis, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, México, 90pp.

- Jørgensen C.B. (1960) Efficiency of particle retention and rate of water transport in undisturbed lamellibranchs. *Journal du Conseil. Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer* **26**, 94–116.
- Koch V., Mazón-Suástegui J.M., Sinsal E., Robles-Mungaray M. & Dunn D. (2005) Lion's paw scallop (*Nodipecten subnodosus*, Sowerby, 1835) aquaculture in Bahía Magdalena México: effects of population density and season on juvenile growth and mortality. *Aquaculture Research* **36**, 505–512.
- Lechuga-Devéze C.H., Morquecho-Escamilla M.L., Reyes-Salinas A. & Hernández-Alfonso J.R. (2000) Environmental natural disturbances at Bahía Concepción, Gulf of California. In: *Aquatic Ecosystems of México. Status and Scope* (ed. by M. Munawar, S.G. Lawrence, I.F. Munawar & D.F. Malley), pp. 245–255. Ecovision World Monograph Series, Backhuys Publishers, Leiden, the Netherlands.
- Leyva-Valencia I., Maeda-Martínez A.N., Sicard M.T. & Robles-Mungaray M. (2001) Halotolerance, upper thermotolerance, and optimum temperature for growth of the penshell *Atrina maura* (Sowerby) (Bivalvia:Pinnidae). *Journal of Shellfish Research* **20**, 49–54.
- Lluch-Cota D.B., Wooster W.S. & Hare S.R. (2001) Sea surface temperature variability in coastal areas of the northeastern Pacific related to the El Niño–Southern Oscillation and the Pacific Decadal Oscillation. *Geophysical Research Letters* **28**, 2029–2032.
- Lluch-Belda D., Lluch-Cota D.B. & Lluch-Cota S.E. (2003a) Interannual variability impacts on the California current large marine ecosystem. In: *Large Marine Ecosystems of the World: Trends in Exploitation, Protection and Research* (ed. by G. Hempel & K. Sherman), pp. 195–226. Elsevier, Amsterdam, the Netherlands.
- Lluch-Belda D., Lluch-Cota D.B. & Lluch-Cota S.E. (2003b) Scales of interannual variability in the California current system: associated physical mechanisms and likely ecological impacts. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports (CalCOFI)* **44**, 76–85.
- Lluch-Belda D., Lluch-Cota D.B. & Lluch-Cota S.E. (2003c) The temperate-tropical eastern Pacific ecotone: Baja California's biological transition zones. *Journal of Oceanography* **59**, 503–513.
- Lodeiros C., Maeda-Martínez A.N., Freitas L., Uribe E., Lluch-Cota D.B. & Sicard M.T. (2001) Ecophysiology of scallops from Iberoamerica. In: *Los Moluscos Pectínidos de Iberoamérica: Ciencia y Acuicultura* (ed. by A.N. Maeda-Martínez), pp. 77–88. Editorial Limusa, México City, México.
- Maeda-Martínez A.N., Ormart-Castro P., Méndez L., Acosta B. & Sicard M.T. (2000) Scallop growout using a new bottom-culture system. *Aquaculture* **189**, 73–84.
- Mendelsohn R. & Roy C. (1996) *Comprehensive ocean dataset extraction users guide*. NOAA Tech. Memo., NOAA-TM-NMFS-SWFC 228, 67pp.
- Mendoza-Salgado R.A. & Lechuga-Devéze C.L. (1995) *Diagnóstico ambiental preliminar: Rancho Bueno, Bahía Magdalena*. B.C.S. Technical Report CIBNOR, México, 78pp.
- Monsalvo-Spencer P., Maeda-Martínez A.N. & Reynoso-Granados T. (1997) Reproductive maturity and spawning induction in the catarina scallop *Argopecten ventricosus-circularis* (Sowerby II, 1842). *Journal of Shellfish Research* **16**, 67–70.
- Nieves-Soto M. (1988) *Efecto de la temperatura y la alimentación en algunos procesos fisiológicos de Atrina tuberculosa Sowerby, 1835 (Mollusca, Bivalvia) bajo condiciones de laboratorio*. Masters thesis, Centro de Investigación Científica y de Estudios Superiores de Ensenada, Ensenada, México, 95pp.
- Olson D.B. (2001) Biophysical dynamics of western transition zones: a preliminary synthesis. *Fisheries Oceanography* **10**, 133–150.
- Ponce-Díaz G., Lluch-Cota S.E., Bautista-Romero J. & Lluch-Belda D. (2003) Caracterización multiescala de la temperatura del mar en una zona de bancos abuloneros en bahía asunción, baja california sur, México. *Ciencias Marinas* **29**, 291–303.
- Rodríguez-Jaramillo M.C., Maeda-Martínez A.N., Valdéz M.E., Reynoso-Granados T., Monsalvo-Spencer P., Prado-Ancona D., Cardoza-Velazco E., Robles-Mungaray M. & Sicard M.T. (2001) The effect of temperature on the reproductive maturity of the penshell *Atrina maura* (Sowerby, 1835) (Bivalvia:Pinnidae). *Journal of Shellfish Research* **20**, 39–47.
- Salazar-Virgen H.S. (2004) *Efecto de la temperatura sobre la tasa rutinaria de consumo de oxígeno y el crecimiento, en juveniles de dos poblaciones de ostión japonés Crassostrea gigas (Thunberg, 1873)*. Bachelor's thesis, Escuela Nacional de Ingeniería Pesquera, Universidad Autónoma de Nayarit, San Blas, México, 39pp.
- Schwing E.B., Murphree T. & Green P.M. (2002) The northern oscillation index (NOI): a new climate index for the northeast Pacific. *Progress in Oceanography* **53**, 115–139.
- Sicard M.T. (1999) *Temperatura letal superior y temperatura óptima en una población de almeja catarina (Argopecten ventricosus, Sowerby II, 1842)*. Masters thesis, Centro Interdisciplinario de Ciencias del Mar, IPN, La Paz, México, 96pp.
- Sicard M.T., Maeda-Martínez A.N., Reynoso-Granados T., Ormart-Castro P. & Carvalho-Saucedo L. (1999) Optimum temperature for growth in the catarina scallop (*Argopecten ventricosus*, Sowerby II, 1842). *Journal of Shellfish Research* **18**, 385–392.
- Silva-Loera H.A. (1986) *Efecto del tamaño corporal, tensión de oxígeno y temperatura sobre la tasa de consumo de oxígeno en la escalopa Argopecten circularis (Sowerby) (Mollusca: Lamellibranchia)*. Masters thesis, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México, 93pp.
- Smith E.A. (1992) *A user's guide to the NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer Multichannel Sea Surface Temperature (MCSST)*. Data set produced by the University of Miami School of Marine and Atmospheric Science, JPL Tech. Rep. No. 037-D001, 22pp.
- Smith T.M. & Reynolds R.W. (2004) Improved extended reconstruction of SST (1854–1997). *Journal of Climate* **17**, 2466–2477.
- Warren C.E. & Davis G.E. (1967) Laboratory studies on the feeding, bioenergetics, and growth of fish. In: *The Biological Basis of Freshwater Fish Production* (ed. by S.D. Gerking), pp. 175–214. Blackwell, Oxford, UK.

RESUMEN CURRICULAR

María Teresa Sicard González

Candidato para el Grado de

Doctor en Ciencias Biológicas con Especialidad en Acuicultura

Tesis:

EFECTO DE LA OSCILACIÓN TÉRMICA EN LA FISIOLOGÍA DE LA ALMEJA MANO DE LEÓN (*Nodipecten subnodosus* Sowerby, 1835)

Campo de Estudio: Ecofisiología aplicada a la acuicultura

Datos Personales: Nacida en la Ciudad de México, Distrito Federal el 28 de Febrero de 1963, hija de María Teresa González de la Torre y Mauro Sicard Pliego. Esposa y madre de dos hijos.

Educación: Egresada de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, donde obtuvo el título de Biólogo. Posteriormente obtuvo el Grado de Maestro en Ciencias con Especialidad en Ciencias Marinas en el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN.

Experiencia Profesional: Investigador de tiempo completo del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. desde 1990, adscrita al Programa de Acuicultura. Autor de 8 artículos publicados en revistas inscritas en el ISI, 1 capítulo de libro nacional y 2 internacionales con arbitraje. Adicionalmente ha contribuido a la formación de recursos humanos a través de la dirección de 9 tesis de licenciatura, 3 tesis de maestría y atención a varios alumnos a través de servicios sociales, estancias de investigación y prácticas profesionales. Así mismo ha organizado 1 taller nacional y 3 cursos internacionales.